



AUTORITA' PORTUALE DI CIVITAVECCHIA, FIUMICINO E GAETA
OPERE STRATEGICHE PER IL PORTO DI CIVITAVECCHIA

**STUDIO PER LA VALUTAZIONE DI INCIDENZA
DEI PIANI E PROGETTI FINALIZZATI ALLO SVILUPPO
DELL'HUB PORTUALE DI CIVITAVECCHIA**

**Verifica di Attuazione II° fase (ex 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.**



Simone Ceraudo
NUOVA INDAGO S.R.L.

Prof. Francesco Cinelli
Dott. Stefano Acunto
Dott.ssa Simonetta Ceraudo

Committente:
Autorità Portuale di Civitavecchia, Fiumicino e Gaeta

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO
Dott. Ing. Maurizio Ievolella

IL DIRETTORE DEI LAVORI
Dott. Giorgio Fersini

Studio per la Valutazione di Incidenza:
NUOVA INDAGO S.r.l.
DEB Università degli Studi della Tuscia
CIBM Centro Interunivers. di Biologia Marina

COMMESSA		CATEGORIA	LIVELLO	SETTORE	REL	REV
A000112		SE	00	00	00VINCA01	0
APR/2015		0	PRIMA EMISSIONE			
Rif.Dis.	Data	Rev.	DESCRIZIONE			

Indice

Introduzione	4
Riferimenti normativi	5
1. Fase 1: Screening.....	7
1.1. Hub portuale di Civitavecchia	7
1.1.1. Il Porto di Civitavecchia.....	7
1.1.1.1. I Lotto funzionale delle Opere Strategiche.....	10
1.1.1.1.1. Lo stato di realizzazione delle opere	13
1.1.1.2. D.E.G.M.....	13
1.1.1.2.1. La D.E.G.M. nel piano regolatore portuale	15
1.1.1.2.2. Adeguamento tecnico funzionale	18
1.1.1.2.3. La D.E.G.M. nella nuova configurazione	18
1.1.1.2.4. Opere di protezione e banchine.....	19
1.1.1.2.5. Terminal ferroviario	20
1.1.1.2.6. Bilancio tra dragaggi e refluimenti nelle colmate	21
1.1.1.2.7. La D.E.G.M. nella nuova configurazione come adeguamento tecnico funzionale di piano.....	23
1.1.1.3. Sintesi del progetto per le opere incidenti sul SIC IT6000005	25
1.1.1.4. Il Lotto funzionale delle Opere Strategiche.....	28
1.1.2. L'iter autorizzativo	33
1.1.2.1. Variante al PRP del 1990.....	33
1.1.2.2. La Valutazione di Impatto Ambientale e la Valutazione di Incidenza conclusa nel 2002	33
1.1.2.3. L'inserimento della Darsena Servizi, della Darsena Traghetti e del Prolungamento antemurale C. Colombo tra le infrastrutture strategiche.....	34
1.1.2.4. La variante al Piano Regolatore Portuale di Civitavecchia del 2004	35
1.1.3. Il Caso EU PILOT 6007/14/ENVI e la VINCA.....	36
1.2. Studio dell'Area vasta e caratterizzazione ambientale tra P.ta S. Agostino e S. Marinella...	37
1.2.1. Caratteri fisiografici e geologici	38
1.3. Descrizione generale dei SIC: IT6000005 e IT6000006 e delle prospicienti aree costiere	44
1.3.1. SIC IT6000005 tra i Fondali tra P.ta S. Agostino e P.ta Mattonara	46
1.3.2. SIC IT6000006 tra i Fondali tra P.ta Pecoraro e Capo Linaro	54
1.4. Raccolta ed analisi dei dati.....	60

1.4.1.	Dati bibliografici e cartografici pregressi	60
1.4.2.	Indagini strumentali ed indagini in situ.....	60
1.4.2.1.	Materiali e metodi utilizzati.....	60
1.4.3.	Risultati	78
1.4.4.	Riferimenti bibliografici.....	187
1.5.	Analisi dei potenziali effetti prodotti dalle attività di dragaggio su specie e habitat prioritari presenti nei SIC IT6000005 E IT6000006	192
1.5.1.	Introduzione	192
1.5.2.	Oggetto e scopo	194
1.5.3.	Schema funzionale dello studio	194
1.5.4.	Area di studio	196
1.5.4.1.	Caratterizzazione geomorfologica.....	197
1.5.4.2.	Caratterizzazione idrologica	198
1.5.4.3.	Analisi del clima meteomarinico e studio del paraggio	199
1.5.4.4.	Analisi del tempo di ritorno degli eventi estremi.....	205
1.5.4.5.	Pesca nel compartimento marittimo di Civitavecchia.....	210
1.5.5.	Materiali e metodi	212
1.5.5.1.	Raccolta dati in-situ	212
1.5.5.1.1.	Rilievo idrologico	212
1.5.5.1.1.1.	Stima della portata liquida e solida degli apporti fluviali	214
1.5.5.1.1.2.	Campionamento del sedimento dell'alveo fluviale	218
1.5.5.1.2.	Rilievo correntometrico	218
1.5.5.1.3.	Rilievo dei parametri fisici, chimici e biologici della colonna d'acqua	221
1.5.5.1.4.	Stima del rateo di sedimentazione nei SIC.....	225
1.5.5.1.4.1.	Stima della densità e biomassa fogliare delle praterie di Posidonia oceanica	227
1.5.5.1.5.	Analisi sedimentologiche e mineralogiche.....	228
1.5.5.2.	Modelli matematici.....	229
1.5.5.2.1.	Modello idrodinamico DELFT3D-FLOW	229
1.5.5.2.2.	Modello di moto ondoso SWAN.....	233
1.5.5.2.3.	Modello di dispersione del materiale in sospensione DELFT3D-WAQ	234
1.5.5.2.4.	Set-up delle simulazioni	237
1.5.5.3.	Indice sintetico per la stima degli impatti	239
1.5.6.	Risultati	242
1.5.6.1.	Analisi del trasporto fluviale.....	242

1.5.6.1.1.	Morfologia degli alvei fluviali	242
1.5.6.1.2.	Analisi sedimentologica e mineralogica dei campioni fluviali.....	243
1.5.6.1.3.	Regime pluviometrico	246
1.5.6.1.4.	Trasporto liquido e solido	248
1.5.6.2.	Analisi dei dati correntometrici	250
1.5.6.3.	Analisi dei dati fisici, chimici e biologici della colonna d'acqua.....	263
1.5.6.4.	Analisi del rateo di sedimentazione nei SIC.....	276
1.5.6.4.1.	Analisi granulometria dei sedimenti all'interno delle praterie di Posidonia oceanica	287
1.5.6.4.2.	Analisi della densità fogliare e fenologia delle praterie di Posidonia oceanica..	290
1.5.6.5.	Analisi delle simulazioni numeriche	291
1.5.6.5.1.	Analisi delle correnti marine	291
1.5.6.5.2.	Analisi del moto ondoso.....	302
1.5.6.5.3.	Risultati delle simulazioni relative alla dispersione del sedimento	311
1.5.6.6.	1.5.6.6. Stima dei degli impatti potenziali sui SIC.....	319
1.5.7.	Discussioni e conclusioni.....	325
1.5.8.	Riferimenti bibliografici.....	328
1.9.	Conclusioni relative alla fase di Screening.....	332
Allegato 1 - Carta Bionomica SIC IT6000005		334
Allegato 2 - Carta Bionomica SIC IT6000006		335
Allegato 3 – Carte di lavoro: Transetti ROV e Stazioni		336
Allegato 4 – Studio Punta Mattonara.....		337

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

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

ALLEGATO C : Risultati delle simulazioni del campo idrodinamico

ALLEGATO D : Risultati delle simulazioni del moto ondoso

ALLEGATO E : Risultati delle simulazioni di dispersione di sedimento

Introduzione

Il principale strumento della politica dell'Unione Europea per la conservazione della biodiversità è rappresentato da Rete Natura 2000. Si tratta di una rete ecologica diffusa su tutto il territorio dell'Unione, istituita ai sensi della Direttiva 92/43/CEE "Habitat" per garantire il mantenimento a lungo termine degli habitat naturali e delle specie di flora e fauna minacciati o rari a livello comunitario. Le aree che compongono la rete Natura 2000 non sono riserve rigidamente protette dove le attività umane sono escluse. La direttiva intende garantire la protezione della natura tenendo anche "conto delle esigenze economiche, sociali e culturali, nonché delle particolarità locali e riconosce il valore di tutte quelle aree nelle quali la secolare presenza dell'uomo e delle sue attività tradizionali ha permesso il mantenimento di un equilibrio tra attività antropiche e natura". Inoltre nello stesso titolo della direttiva viene specificato l'obiettivo di conservare non solo gli habitat naturali ma anche quelli seminaturali, come le aree ad agricoltura tradizionale, i boschi utilizzati, i pascoli, ecc.

Con DPR 8 settembre 1997 n. 357 (successivamente modificato dal DPR 12 marzo 2003 n. 120), lo Stato Italiano ha emanato il Regolamento di recepimento ed attuazione della Direttiva Habitat, assegnando alle regioni il compito di definire specifici indirizzi, in materia di Rete Natura 2000 e di Valutazione di Incidenza, per il proprio territorio di competenza.

In base all'art. 6 del DPR 120/2003, comma 1, sono da sottoporre a Valutazione di Incidenza (comma 3), tutti i Piani, Programmi e Progetti ricadenti nei siti della Rete Natura 2000 che possono avere incidenze significative sul sito stesso, singolarmente o congiuntamente ad altri interventi. Va peraltro considerato che la necessità di redigere una relazione di incidenza ambientale non è limitata a piani o progetti ricadenti esclusivamente all'interno di SIC o ZPS ma anche a quegli interventi che, pur se compiuti all'esterno, possano avere impatti significativi sul sito, (e/o sulle specie) della Rete Natura 2000.

L'Autorità Portuale di Civitavecchia, a seguito della Valutazione di Impatto Ambientale a cui è stato sottoposto il Piano Regolatore Portuale di Civitavecchia del 2004 (PRP 2004), si è impegnata a far svolgere, un nuovo specifico Studio ai fini della Valutazione d'Incidenza ambientale (VINCA), redatto secondo l'allegato G del D.P.R. 8 Settembre 1997 n. 357, in relazione ai Siti di Interesse Comunitario (SIC): – SIC IT6000005 "Fondali tra Punta S. Agostino – Punta della Mattonara" e SIC IT6000006 "Fondali tra Punta del Pecoraro - Capo Linaro", che analizzi gli effetti, diretti ed indiretti, che l'attuazione dei progetti già realizzati o previsti potranno indurre sui siti stessi.

Riferimenti normativi

-Legge n.394 del 1991 – “Legge quadro sulle aree protette”.

-Direttiva 92/43/CEE – “Conservazione degli habitat naturali e seminaturali e della flora e della fauna selvatiche”.

-Guida all’interpretazione dell’articolo 6 della direttiva <<Habitat>>92/43/CEE. La gestione dei siti della rete natura 2000.

-D.G.R. 19 marzo 1996, n.2146 “Direttiva 92/43/CEE (Habitat): approvazione della lista dei siti con valori di importanza comunitaria del Lazio ai fini dell’inserimento nella rete ecologica europea Natura 2000”

-D.P.R. 8 Settembre 1997, n.357 – “Regolamento recante attuazione della direttiva 92/43/CEE della flora e della fauna selvatiche”.

-Legge n° 426/98. - Servizio Difesa Mare del Ministero dell'Ambiente - "Programma nazionale di individuazione e valorizzazione della Posidonia oceanica nonché di studio delle misure di salvaguardia della stessa da tutti i fenomeni che ne comportano il degrado e la distruzione".

-D.M. 3 aprile 2000 – “Elenco dei Siti di Importanza Comunitaria e delle zone di protezione speciali, individuati ai sensi delle Direttive 92/43/CEE e 79/409/CEE”.

-Decreto del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio 3 settembre 2002 - “Linee guida per la gestione dei siti Natura 2000”.

-D.P.R. 12 marzo 2003 n.120 – “Regolamento recante modifiche ed integrazioni al decreto del Presidente della Repubblica 8 settembre 1997, n.357, concernente attuazione della direttiva.

-Regolamento (CE) n. 1954/2003 del Consiglio del 4 novembre 2003, relativo alla gestione dello sforzo di pesca per talune zone e risorse di pesca comunitarie...’

-Regolamento (CE) n. 1967/2006 del Consiglio del 21 dicembre 2006, relativo alle misure di gestione per lo sfruttamento sostenibile delle risorse della pesca nel mar Mediterraneo e recante modifica del regolamento (CEE) n. 2847/1993 e che abroga il regolamento (CE) n. 1626/94.

-Direttiva n. 2008/56/CEE del Consiglio del 17 giugno 2008, che istituisce un quadro per l’azione nel campo della politica per l’ambiente marino(direttiva quadro sulla strategia per l’ambiente marino.

-Decreto del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare del 3 luglio 2008 – “Primo elenco aggiornato dei siti di importanza comunitaria per la regione bio-geografica mediterranea in Italia, ai sensi della Direttiva 92/43/CEE.

-Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato Economico e Sociale Europeo e al Comitato delle Regioni. Una politica marittima integrata per una migliore governance del Mediterraneo, (2009) 466.

-D.G.R. del 27/02/2010, n.64. Approvazione linee guida per la procedura di Valutazione di Incidenza.

-D. Lgs. 9 gennaio 2012, n.4, Misure per il riassetto della normativa in materia di pesca ed acquacoltura a norma dell'art. 28 della legge 4 giugno 2010, n.96.

1. Fase 1: Screening

1.1. Hub portuale di Civitavecchia

Lo sviluppo dell'*Hub* portuale di Civitavecchia è l'esito di un articolato processo di pianificazione e progettazione unitario, avviato negli anni '90 e ad oggi ancora in corso. Tale processo è finalizzato anche a risolvere il problema dell'incompatibilità tra alcune attività che venivano svolte nella parte storica del porto, le cui strutture originarie risalgono al 1500, e il centro abitato di Civitavecchia.

1.1.1. Il Porto di Civitavecchia

Il Porto di Civitavecchia, situato nell'omonimo Comune in Provincia di Roma, si estende per circa 4,20 km lungo la costa a Nord dell'abitato. E' costituito da un unico bacino portuale che si compone di una sequenza di darsene. In particolare, oltre alle darsene di epoca romana, il porto è costituito dal bacino Michelangelo (del periodo rinascimentale), dominato dal complesso monumentale del forte omonimo, il contiguo bacino Umberto I e il bacino Vespucci che derivano sempre da adattamenti delle opere esistenti nel periodo rinascimentale. A parte i progetti oggetto della presente nota, i precedenti interventi sono stati la realizzazione delle darsene Albicini e Petroli, realizzate negli anni sessanta.

Il Porto di Civitavecchia collega stabilmente la penisola con la Sardegna (Cagliari, Olbia, Arbatax e Porto Torres), la Sicilia (Palermo, Trapani, Catania) – consentendo tra l'altro l'esercizio dei servizi pubblici di collegamento tra la penisola e le isole maggiori da parte della società incaricata (nel caso, Tirrenia) - Malta, Spagna e Africa Nord Occidentale con il collegamento diretto con Tunisi che rappresenta la prima tratta di collegamento extra Schengen del Porto di Civitavecchia. Negli ultimi anni il porto ha visto crescere i servizi di *Short Sea Shipping*, definiti anche Autostrade del Mare, che collegando le differenti sponde del Mediterraneo, permettono di far defluire sul mare parte del traffico che storicamente si muove su gomma (TIR, passeggeri, merci).

Il futuro assetto del Porto sarà caratterizzato da:

- Un bacino "storico" con imboccatura rivolta a sud, destinato ad accogliere imbarcazioni turistiche;
- Un bacino commerciale e per navi da crociera e passeggeri, con imboccatura rivolta a nord, caratterizzato da una serie di scali riservati alle navi per il collegamento con la Sardegna;
- Un piccolo bacino, detto della Mattonara, destinato ad accogliere mezzi di servizio e di lavoro;
- Un bacino denominato DEGM, con imboccatura rivolta a nord, per i traffici petroliferi.

Per quanto rileva, ai fini del presente studio, gli interventi principali che hanno interessato ed interesseranno il Porto di Civitavecchia sono i seguenti (vedi sezioni evidenziate in Figura 1):

- il Prolungamento dell'antemurale C. Colombo (in verde);
- la Darsena Servizi (in grigio scuro);
- la Darsena Traghetti (in grigio scuro);
- la DEGM (in rosso);
- l'apertura a sud con il nuovo accesso al bacino storico (in verde)

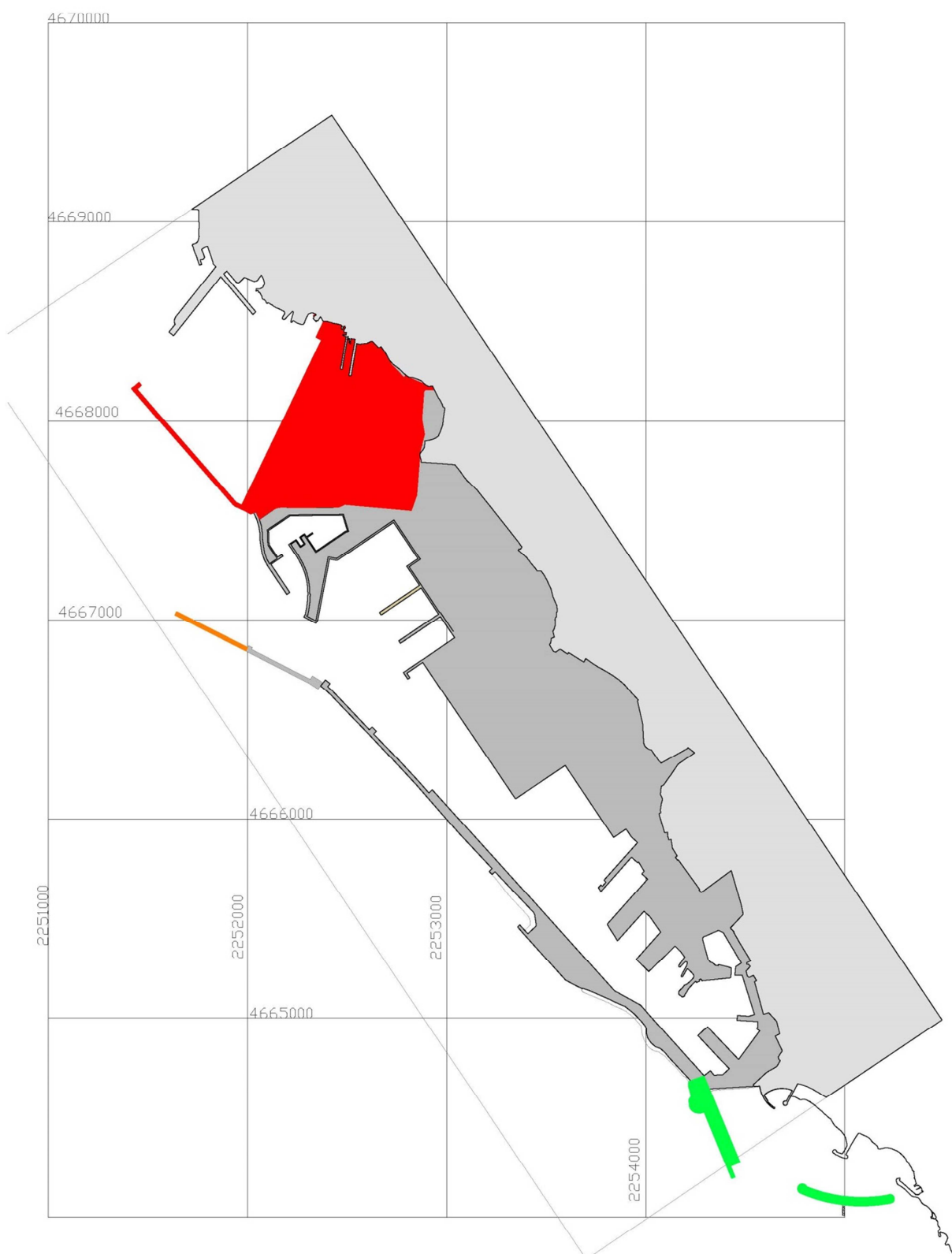


Fig. 1 - Planimetria delle opere

1.1.1.1. I Lotti funzionali delle Opere Strategiche

Il CIPE, con delibera del 21/12/2001 (G.U. n. 51/2002 S. O.) in attuazione della legge n. 443 del 21/12/2001 “Legge obiettivo” approvava il 1° Programma delle infrastrutture strategiche, individuando una serie di opere di importanza prioritaria per la crescita dell’Hub Portuale di Civitavecchia. Dette opere hanno costituito l’ossatura portante del vigente Piano Regolatore Portuale, sul quale si è favorevolmente espresso il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (con voto n.209/2004) ed il Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (DEC VIA n.04/2010).

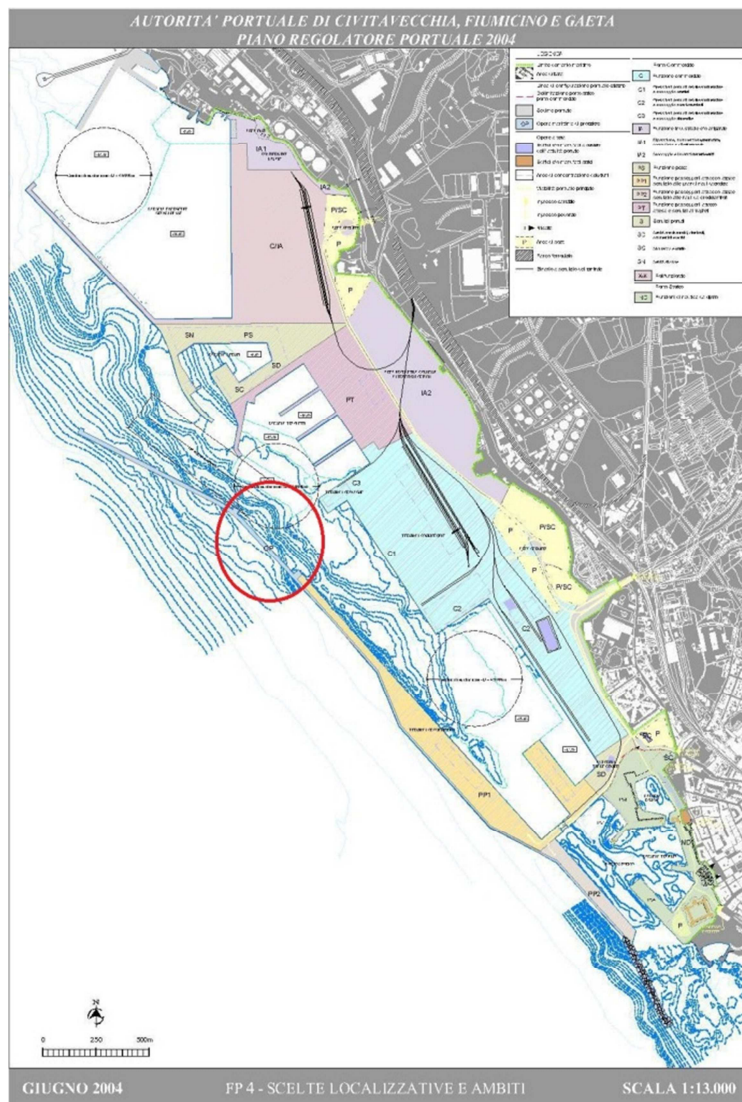
Per l’Autorità Portuale di Civitavecchia gli interventi previsti in progetto si collocano nell’ambito delle differenziazioni dei traffici e delle destinazioni d’uso degli accosti e delle aree che permetteranno una netta separazione tra il porto storico e quello destinato al traffico crocieristico, passeggeri e commerciali.

Le Opere Strategiche sono state pianificate con lo scopo di favorire l’incremento dei traffici marittimi per consentire al Porto di Civitavecchia di assumere il ruolo di Hub Portuale del Tirreno. Esse comporteranno un sostanziale aumento delle lunghezze di banchina disponibile, l’ottimizzazione e la specializzazione degli accosti e delle aree a terra dedicate.

Questo complesso di opere consente di allontanare dalla città tutto il traffico passeggeri e di completare la trasformazione del Porto Storico in luogo di grande valenza turistica e culturale. Inoltre, tale nuova disposizione, rispetto all’attuale situazione che vede i traghetti collocati nella zona più lontana dall’imboccatura, viene incontro all’esigenza di minimizzare i tempi di ingresso ed ormeggio dei traghetti fra il continente e la Sardegna.

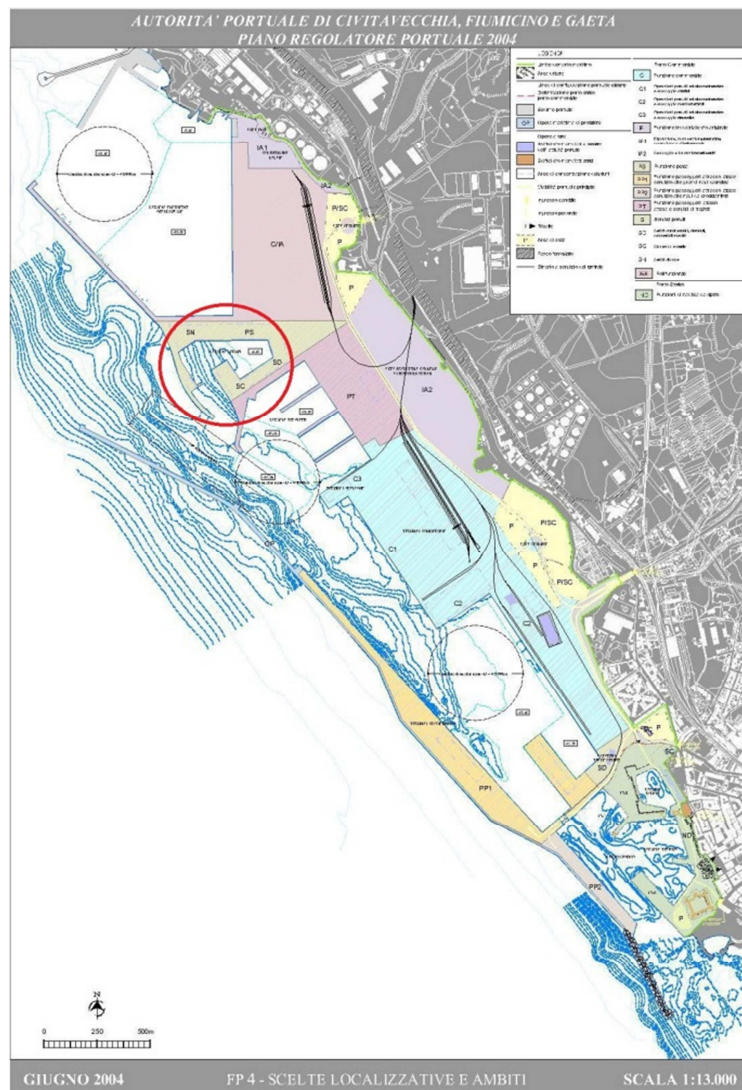
Nell’ambito delle Opere Strategiche, prioritaria è risultata essere la realizzazione del prolungamento dell’antemurale C. Colombo nonché quella delle Darsene Traghetti e Servizi in quanto da esse dipende la rivisitazione dell’assetto del porto nel suo complesso che comporterà l’auspicata separazione del turismo (diporto e crociere) ospitato nel porto storico, prossimo all’abitato di Civitavecchia, dai traffici commerciali e dalle attività industriali allocati, invece, nel porto operativo sito a nord dell’ambito suddetto.

Nell’ambito del citato complesso di opere il prolungamento dell’Antemurale C. Colombo ha la fondamentale funzione di proteggere dal moto ondoso la darsena per i traghetti, consentendo un’adeguata operatività degli accosti e di assicurare idonee condizioni di sicurezza nelle fasi di ingresso e di uscita dal porto. Tale prolungamento consente di limitare il numero degli ormeggi e delle banchine non operativi del bacino per traghetti e di contenere la durata di non operatività a soli 1.5 giorni/anno. Inoltre, la disposizione planimetrica della nuova diga nasce dall’esigenza di agevolare il transito in ingresso ed in uscita delle navi che fruiranno delle infrastrutture portuali con particolare riferimento alle navi da crociera che raggiungono notevoli dimensioni.

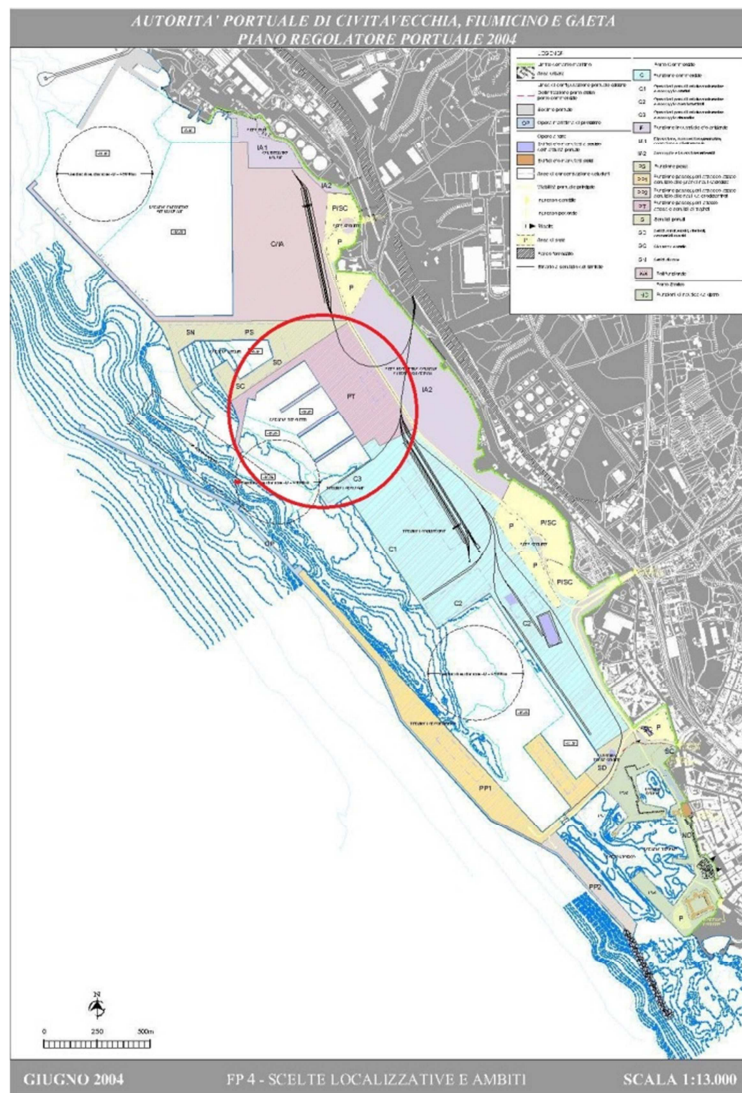


La Darsena Traghetti si inserisce nell'ambito degli interventi volti ad effettuare lo spostamento del traffico passeggeri nella zona nord del porto. Si tratta di un terminale dedicato al traffico di cabotaggio lontano dal centro abitato, e con il collegamento diretto alla rete autostradale, oltre a essere dotato di idonei spazi per la sosta.

La darsena permetterà l'attracco di 7 navi traghetto per mezzo di 3 pontili di ormeggio e del tratto di banchina ad essi paralleli confinante con la Darsena Servizi, di una nave da crociera presso il fronte di accosto sporgente e di una ulteriore nave presso il fronte banchina del Terminal Granaglie che potrà essere o una nave per il traffico di granaglie oppure una nave traghetto.



La Darsena Servizi è ubicata nell'area delimitata verso sud dalla Darsena Traghetti e verso nord dalla futura Darsena Energetica Grandi Masse (Piano Regolatore Portuale del 2004); gli spazi a mare e a terra saranno dedicati alle Forze dell'Ordina e ai Corpi Militare di stanza nel Porto di Civitavecchia (Guardia di Finanza, Carabinieri, Guardia Costiera, Vigili del Fuoco), agli Operatori Portuali (ormeggiatori, piloti, rimorchiatori), ai servizi di manutenzione dei mezzi marittimi (officine meccaniche dotate di darsena travel – lift), ai servizi di bunkeraggio, al mercato del pesce, nonché all'ormeggio della flotta peschereccia.

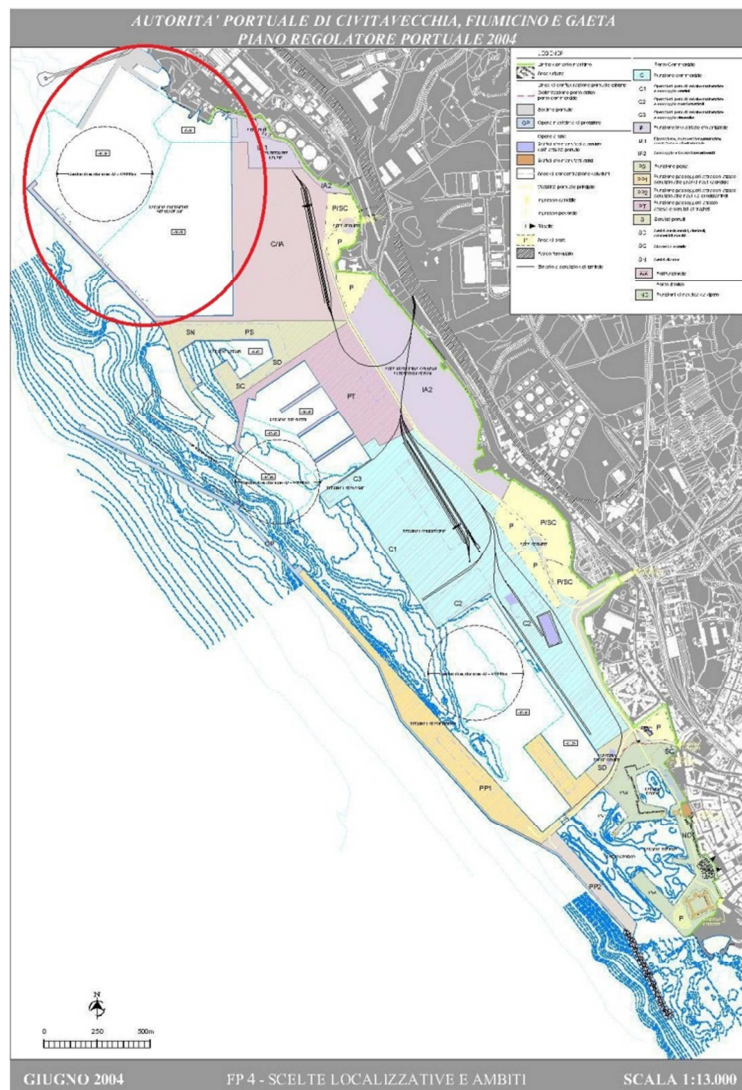


1.1.1.1.1. Lo stato di realizzazione delle opere

I lavori per la costruzione della Darsena Traghetti, Darsena Servizi e Prolungamento dell'Antemurale sono stati avviati in data 25.07.2012 e ad oggi, è possibile quantificare lo stato avanzamento lavori in una percentuale superiore al 70%.

1.1.1.2. D.E.G.M.

La Darsena Energetica Grandi Masse è un'opera inserita nel Piano Regolatore Portuale di Civitavecchia per essere adibita allo scarico di prodotti petroliferi e di merci containerizzate. In particolare, la DEGM costituirà un bacino, con imboccatura verso nord-ovest, caratterizzato da diverse banchine, di cui una petrolifera, una polifunzionale ed una di riva.



Situata nella parte più settentrionale dell'area portuale, è delimitata a Nord dall'Area Cantieristica Navale, a Nord-Est dall'Area Cerniera in corrispondenza dell'ingresso Nord e a Sud dalla Darsena Servizi.

Per tale ambito, l'Autorità Portuale, con il Piano Regolatore Portuale 2004 attualmente vigente (elaborato ai sensi della Circolare Lunardi del 2004 come *"Piano Strutturale" modulato sul perseguimento degli obiettivi*), approvato dalla Regione Lazio nell'anno 2012, ha pianificato un'ipotesi di insediamento operativo, che, nell'ottica di garantire la massima flessibilità, permettesse l'accosto di un naviglio diversificato (navi porta rinfuse solide e liquide, portacontainers, navi per merci varie, etc.), in grado di rispondere prontamente alle continue sollecitazioni indotte dai traffici commerciali.

1.1.1.2.1. La D.E.G.M. nel piano regolatore portuale

Il *layout* marittimo comprensivo dell'assetto interno della D.E.G.M. e delle aree limitrofe individuato nel P.R.P. 2004, deriva dalla sovrapposizione delle due configurazioni appresso indicate:

- 1) Configurazione adottata dal Comitato Portuale con delibera n. 35 del 15/5/2000, licenziata favorevolmente con osservazioni e prescrizioni dal Ministero dell'Ambiente con DEC/VIA 6923/2002 e successivamente dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici con voto 45/2008, approvata infine con provvedimento della Giunta Regionale del Lazio numero 679 del 26/9/2008,
- 2) Configurazione individuata dalle opere marittime a servizio della centrale Torre Valdaliga Nord, la cui realizzazione è stata approvata con decreto MAP 55/02/2003, nell'ambito dell'iter autorizzativo che ha permesso la conversione a carbone della centrale Termoelettrica di Torre Valdaliga Nord. L'autorizzazione di tali opere, ai sensi della legge 9 del 9 aprile 2002 n. 55, ha avuto effetto di variante urbanistica.

Il P.R.P. 2004, per quanto attiene le aree interessate dalla presente proposta progettuale, articola il suo assetto interno in tre ambiti caratterizzati ciascuno da distinte componenti funzionali caratterizzanti. In particolare, come meglio evidenziato nella figura, sono previste le seguenti funzioni:

- 1) Ambito C/IA caratterizzato da una destinazione d'uso prevalentemente commerciale con possibilità di trattare indistintamente merci alla rinfusa, sia solide che liquide, ed unitizzate (*containers, pallets, big bags, etc*), al proprio interno sono inoltre consentite attività di tipo industriale ed artigianale. Gli specchi d'acqua è previsto che abbiano profondità variabili da -16,00 a -18,00 m, il cerchio di evoluzione, relativo alla batimetria maggiore presenta un raggio pari a 450,00 m.

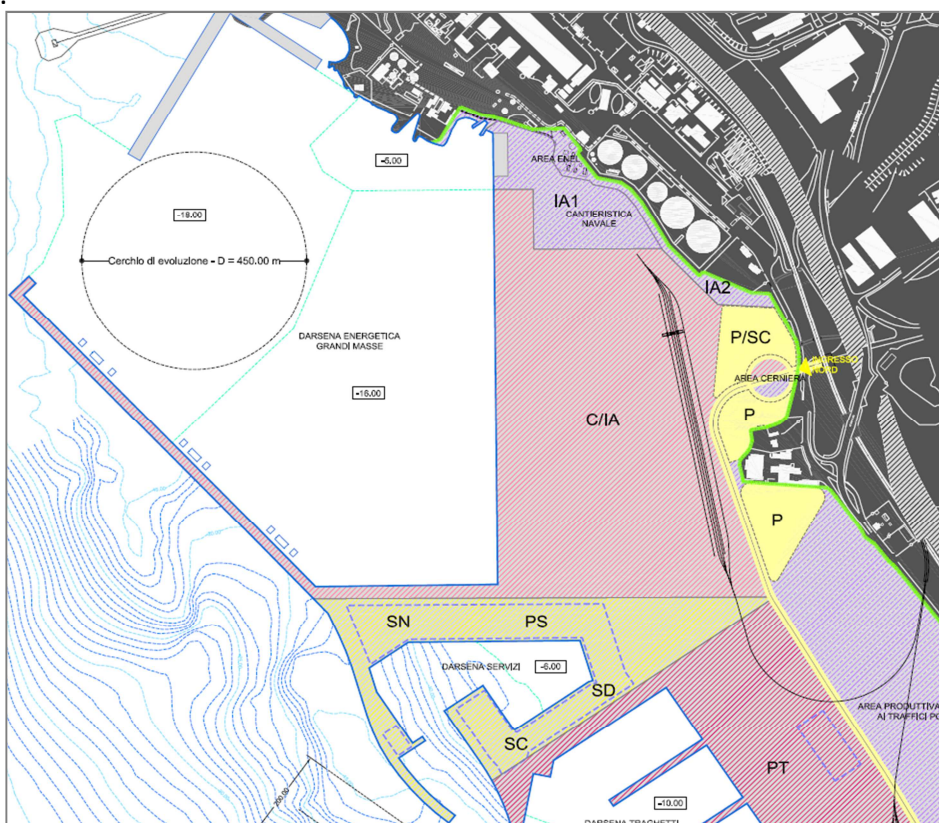


Fig. 1 – Estratto dal Piano Regolatore Portuale 2004, elaborato FP4 - Scelte localizzative ed ambiti.

- 2) Ambiti IA1/2, destinati rispettivamente alla cantieristica navale attualmente presente in modo diffuso in tutto l'ambito portuale ed alla movimentazione e stoccaggio delle materie prime a servizio delle centrali elettriche.
- 3) Ambito P/SC destinato all'espletamento delle operazioni di sicurezza e controllo degli accessi in ambito portuale.

Per ciò che concerne gli indirizzi strategici assunti dalla Autorità Portuale nella realizzazione del comprensorio relativo ai tre ambiti di cui sopra (D.E.G.M., area cantieristica ed area cerniera all'ingresso nord), la Relazione Generale e le Norme Tecniche d'Attuazione del Piano Regolatore Portuale del 2004 esplicitano gli obiettivi posti alla base delle proposte pianificatorie.

Il Piano Regolatore Portuale 2004, la cui concezione era basata su assunzioni di futuri sviluppi di mercato e di condizioni di contorno ormai non più attuali, prevedeva per la Darsena Energetica Grandi Masse la realizzazione di un bacino, con imboccatura verso N-W, senza presenza di sporgenti o sub-darsene, sul quale si affacciano le diverse banchine disposte lungo il perimetro.

In particolare, in direzione parallela a quella dell'imboccatura (NW-SE) era prevista la banchina petrolifera, denominata Molo di Sopraflutto; lungo la direzione E-W era collocata la Banchina Polifunzionale; mentre la Banchina di Riva era orientata lungo la direzione S-N; lungo la direzione NE-SW la banchina ENEL, già realizzata, chiude il bacino.

Il molo di sopraflutto, è progettato per avere una duplice funzione: in primo luogo, riparare il porto dal moto ondoso ed, inoltre, essere adibito a banchina petrolifera.

Infatti, lungo il suo sviluppo erano previsti tre attracchi petroliferi, due per petroliere da 50.000 dwt (*dead weight tonnage* o tonnellaggio di portata lorda) ed uno per petroliere da 100.000 dwt.

Nella parte antistante l'attracco petrolifero da 100.000 dwt e nell'area interessata dal cerchio di evoluzione, la soluzione prevedeva il dragaggio del fondale fino ad una profondità pari a -18 m, mentre nelle zone antistanti gli altri due attracchi, venivano conservati i fondali naturali, che presentano profondità maggiore di -16 m.

La banchina di riva, l'unica ad essere dotata a tergo di piazzali operativi di ampie dimensioni, era destinata all'attracco di navi per il trasporto di grandi masse, in particolare la soluzione prevedeva la movimentazione di diverse tipologie merceologiche (rinfuse, semi bulk, merci unitizzate in particolare container e varie, etc.).

La banchina polifunzionale, posta in posizione adiacente alla Darsena Servizi, presentava una fascia di terrapieno retrostante di esclusiva competenza. Date le caratteristiche geometriche di tale area (si tratta di una fascia di esiguo spessore), tale banchina era destinata all'attracco di navi di medie dimensioni destinate al trasporto di prodotti essenzialmente rinfusieri di tipo solido (cementi, sali, granaglie, etc.) che attraverso idonee dotazioni tecniche, venivano convogliate e stoccate nel terminal dedicato a tergo della banchina di riva.

Relativamente all'aspetto altimetrico le quote di piazzale in corrispondenza dei fronti banchinati si attestavano alla quota + 2,50 m (s.l.m.m.).

Le batimetrie, come rappresentato sia nella tavola di Piano Regolatore FP4 *Scelte Localizzative ed Ambiti* sia nelle Norme Tecniche Attuative, risultano variabili tra le quote -16,00 e -18,00 (l.m.m.), ad eccezione di una piccola porzione con profondità minima pari a -5,00 (l.m.m.) in corrispondenza della linea di costa attestata a margine delle centrali termoelettriche e della cantieristica navale.

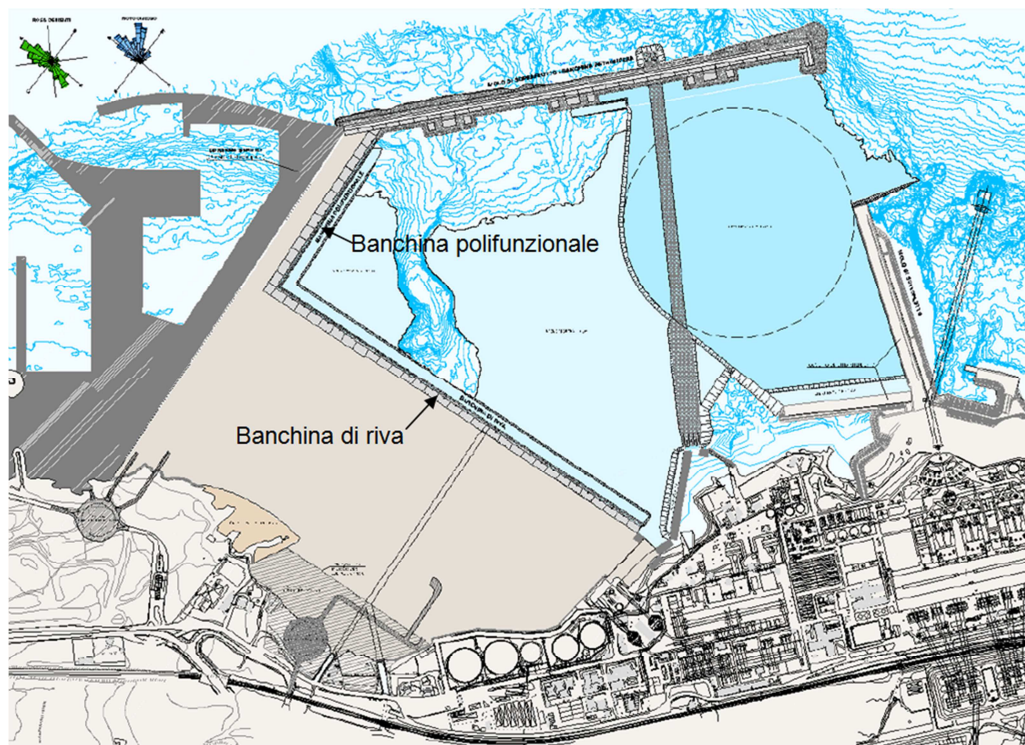


Fig. 2 - Planimetria con infrastruttura dedicata ad insediamenti per merci alla rinfusa liquide e solide, unitizzate e di general cargo.

1.1.1.2.2. Adeguamento tecnico funzionale

L'assetto interno della D.E.G.M. è stato successivamente modificato. Le motivazioni che hanno comportato la necessità di tali modifiche non è oggetto di questa trattazione, tuttavia dalla committenza (Autorità Portuale di Civitavecchia) è stato indicato agli scriventi che il quadro esigenziale alla base delle modifiche apportate può essere suddiviso nelle seguenti due categorie principali:

- A) Esigenze di carattere fisico strutturale derivanti dalle variate condizioni al contorno (ritrovamenti archeologici del sito "la Mattonara").
- B) Esigenze di carattere strategico correlate alla rapida evoluzione delle dinamiche connesse ai traffici marittimi.

1.1.1.2.3. La D.E.G.M. nella nuova configurazione

Come detto, è stata studiata una nuova configurazione della darsena energetica grandi masse che tarata sulle nuove condizioni al contorno (sostanziale riduzione delle aree e relativa modifica degli allineamenti esterni), nelle intenzioni del progettista, in primo luogo, ottimizzasse gli spazi e le geometrie risultanti e permettesse di seguire le tendenze di mercato (in termini merceologici ma anche e soprattutto di dimensioni dei nuovi vettori navali), ma allo stesso tempo, fosse congruente con lo strumento pianificatorio vigente, configurando le modifiche, rispetto alla soluzione progettuale fino ad oggi sviluppata, come adeguamento tecnico funzionale al Piano Regolatore Portuale vigente.

I vincoli di carattere tecnico nautico e logistico, posti alla base della definizione di una nuova soluzione, che tenesse conto di tutte le esigenze in grado di soddisfare le richieste del mercato sono i seguenti:

- lunghezza accosto per due ULCS pari a 950-1000 m, con profondità di -18,00 m;
- cerchio di evoluzione di diametro pari a 650 m, al netto degli accosti occupati;
- dimensione e conformazione dei piazzali in modo da avere una conformazione omogenea e compatta, in fregio al fronte banchinato, in grado di accogliere circa 20.000 slot per una capacità nominale di 1.000.000 di Teu/anno, e idonea a sviluppare una logistica interna concepita secondo lo schema adottato su terminali analoghi di eguale capacità prestazionale;
- strutture di banchina di tipologia idonea ad accogliere gru di banchina di nuova generazione, *portainer* da 23 file con altezze sopra banchina sino a 55,00 m;
- superficie destinata ad accogliere il fascio binari, calibrata per forma e dimensioni, su convogli della lunghezza di circa a 550/600 m e comprensiva delle aree al contorno per la sosta e la movimentazione delle merci;
- nuovo *layout* della zona d'ingresso "area Cerniera" che tenesse conto delle variate condizioni imposte dalle prescrizioni impartite in sede di VIA.

- rivisitazione della zona destinata alla cantieristica navale in modo da individuare una collocazione ed un assetto definitivi già nella I Fase attuativa dei lavori della D.E.G.M..

Basato su tali vincoli, l' adeguamento tecnico funzionale prevede uno spostamento del filo della banchina principale verso mare ed una modifica al punto di radicamento del molo sopraflutti per garantire due accosti per navi fino a 400 metri ed un raggio di evoluzione di circa 650,00 m, compatibile con questi vettori.

La nuova soluzione implica il venir meno della banchina polifunzionale e quindi la riduzione complessiva dei fronti banchinati che passano da una lunghezza totale di circa 2020 m ad una di circa 1710 m. La riduzione in termini di numero di accosti e di lunghezza complessiva permetterà, ad ogni buon conto, la ottimizzazione e la possibilità di ormeggio per vettori di nuova generazione.

Il layout complessivo prevede, inoltre, un diverso assetto delle aree cerniera e di spostare le installazioni della cantieristica nautica in una zona laterale al nuovo terminal, così come indicato nel vigente PRP.

Le previsioni di servizi per il comparto petrolifero vengono, inoltre, concretizzate ubicando un accosto sul molo sopraflutti, il cui layout non cambia sostanzialmente rispetto alla soluzione prevista nel PRP del 2004.

Gli interventi previsti per le opere di presa e restituzione a servizio della centrale di *Tirreno Power*, sono ottimizzati portando la presa su un fondale più basso e strutturando la restituzione all'interno di tubazioni che attraversano la darsena, mantenendosi; pertanto, al di sotto dei fondali di progetto, pari a -18 m, con sbocco all'esterno del molo di sopraflutto.

1.1.1.2.4. Opere di protezione e banchine

Il molo di sopraflutto sarà costituito da cassoni quadricellulari di dimensioni 20 m di larghezza e 33,80 m di lunghezza, imbasati ad una profondità di -18,80 m s.l.m.m., con sovrastruttura costituita da muro paraonde a quota massima di +9,50 m s.l.m.m. e con duplice funzione di protezione, rispetto al moto ondoso proveniente dal settore di traversia principale e di alloggiamento delle condotte per la banchina petrolifera. Le celle saranno di dimensioni massime 3,55 m x 4,50 m e setti interni ed esterni di dimensione variabile tra 0,30-0,60 m.

Sul lato interno è previsto un attracco per navi da 100.000 DWT, con bitte da 1.500 kN (150 t), oltre che un attracco per bettoline nella zona radice.

I cassoni saranno dotati internamente di celle antiriflettenti, per l'assorbimento del moto ondoso residuo all'interno del porto e di briccole di accosto con sistema elastico a parabordi frontali.

La banchina di riva, realizzata anch'essa in cassoni di tipo antiriflettenti quadricellulari, è imbasata a -18,80 m s.l.m.m. Le dimensioni saranno in questo caso di 20,00 m x 27,95 m in planimetria con celle interne di 4,00 m x 4,50 m.

Gli arredi di banchina sono stati dimensionati prevedendo l'accosto e l'ormeggio di navi fino a 20.000 TEU e navi più piccole di 250 m e 150 m di lunghezza.

Le bitte di ormeggio, da 2.500 kN ciascuna, sono poste ad una distanza di 20 m, mentre i parabordi idoneamente dimensionati verranno disposti ad una distanza di 10 m.

Come sovrastruttura, verrà realizzata una soletta in conglomerato cementizio armato posta a quota a +3,50 m s.l.m.m. e spessore $\geq 1,50$ m.

Il binario delle gru adibite alla movimentazione merci disterà dal bordo banchina 3,30 m, di dimensioni 0,53 m x 0,226 m. Le vie di corsa delle gru di banchina saranno realizzare per la parte a mare nella sovrastruttura del cassone ed a terra con trave in CLS, fondata su pali ed atta a sopportare i carichi trasmessi delle gru di ultima generazione per navi sino a 23 ROW e carico sotto *spreader* per minimo 60 tons.

1.1.1.2.5. Terminal ferroviario

La D.E.G.M. sarà dotata di Terminal ferroviario dedicato ed attrezzato con gru fisse su rotaia atte a garantire in prima fase la formazione di 3 aste di binario della lunghezza utile di 550/600 mt.

Le disponibilità di sbalzi laterali sulle gru garantiscono la possibilità di poter ulteriormente incrementare, nell'arco degli anni, la disponibilità di binari sotto gru sino a sei aste.

Il Terminal ferroviario sarà raccordato alla rete portuale in prosecuzione di un'asta tronca già esistente e si raccorderà con pendenza dello 0,3% sino alla quota del piazzale del Terminal.

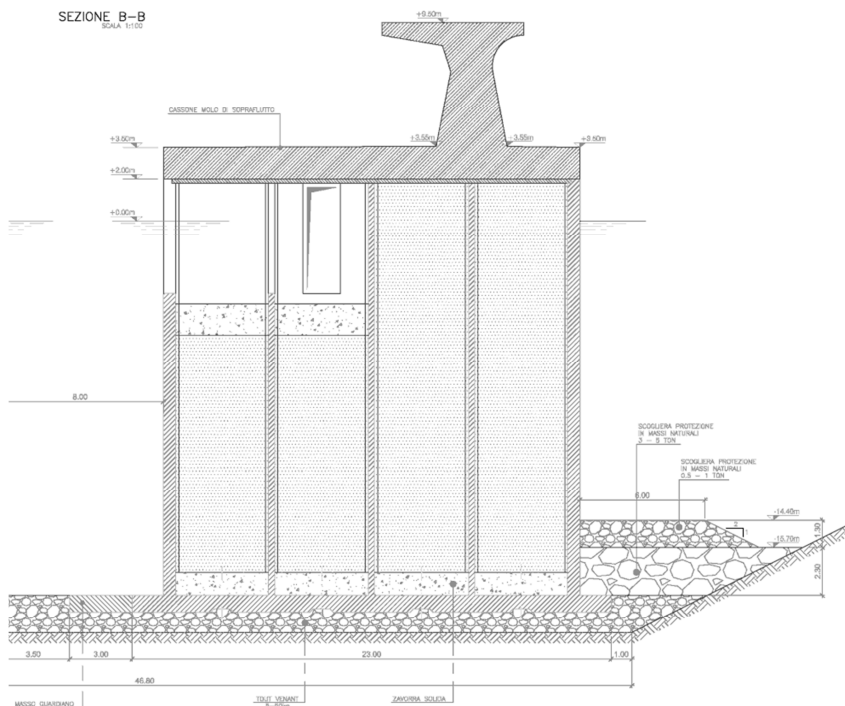


Fig. 2 - Sezione della banchina sopraflutto

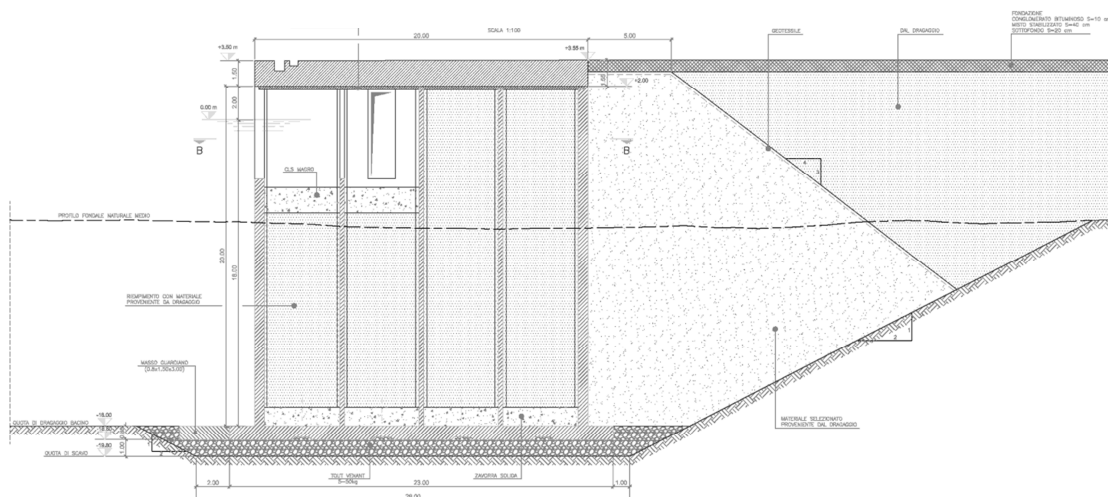


Fig. 3 - Sezione della banchina di riva

1.1.1.2.6. Bilancio tra dragaggi e refluenti nelle colmate

Le operazioni di modellazione dei fondali interni alla D.E.G.M., porteranno ad un volume totale dragato pari a 5.340.000 m³ ed interesseranno:

- tutta l'area della darsena antistante le banchine di riva e di sopraflutto approfondite a quota -18 m s.l.m.m.;
- le cunette di imbasamento dei cassoni;
- la trincea per la realizzazione dell'opera di restituzione;
- l'area destinata alla realizzazione della nuova opera di presa.

L'approfondimento dei fondali sarà effettuato mediante:

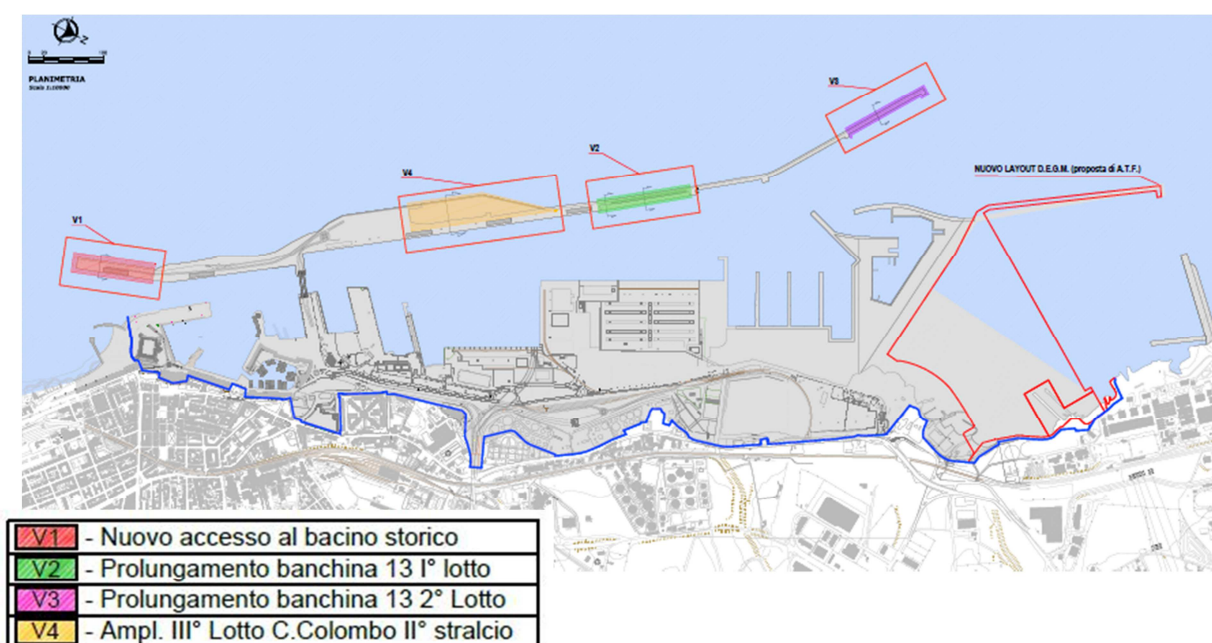
- dragaggio meccanico preferito per le operazioni di dragaggio finalizzate alla formazione delle cunette di imbasamento dei cassoni;
- dragaggio idraulico utilizzata per le aree di grande estensione.

I volumi provenienti dal dragaggio verranno destinati alle seguenti aree:

- circa 1.042.000 m³ (fino a raggiungere quota +2.8 m s.l.m.m.) sarà destinato alla zona di colmata esistente già perimetrata da scogliere prospiciente l'area archeologica ed al lato della futura darsena servizi. Per tale valutazione l'area di colmata esistente viene considerata completamente vuota e libera a ricevere i volumi;
- circa 491.500 m³ sarà reimpiegato per il riempimento dei cassoni cellulari costituenti le banchine;
- circa 2.665.000 m³ saranno utilizzati per realizzare il rilevato a ridosso della banchina di riva. Il volume disponibile è calcolato al netto delle scogliere esistenti delimitanti la cassa di colmata esistente.

Al fine di conseguire il bilanciamento tra il valore del volume di dragaggio e il suo completo riutilizzo come materiale di colmata all'interno dell'ambito portuale, sono stati individuati una serie di interventi in grado di ospitare i quantitativi eccedenti di materiale dragato. Tali opere, individuate nella planimetria allegata, sono costituite da:

- 1) Apertura a Sud.
- 2) Il Ampliamento dell'Antemurale Cristoforo Colombo.
- 3) Ampliamento della banchina n° 13.
- 4) Prolungamento dell'Antemurale Cristoforo Colombo.



L'intervento sarà realizzato per fasi, in funzione della disponibilità dei siti di sversamento di cui sopra.

1.1.1.2.7. La D.E.G.M. nella nuova configurazione come adeguamento tecnico funzionale di piano

La nuova soluzione presenta le seguenti caratteristiche rispetto a quanto previsto nello strumento di pianificazione:

- In primo luogo, il terminal ed il molo sopraflutto coprono le stesse superfici: in entrambe le configurazioni (circa 420.000 m²), pur modificandosi la configurazione dell'area del terminal e, leggermente, del molo sopraflutto;
- I fronti banchinati diminuiscono passando da una lunghezza complessiva di circa 2.020 m ad una di circa 1.710 m (essendo venuta meno la banchina polifunzionale ed essendo aumentata leggermente quella di riva), tale riduzione di accosti in termini di lunghezza complessiva ne permetterà, a ogni buon conto, la ottimizzazione e la possibilità di ormeggio per vettori di nuova generazione;
- Da un punto di vista funzionale, le aree rimangono nello stesso ambito (CI/A, IA1). Le previsioni indicate dal PRP quindi rimangono invariate come anche le destinazioni d'utilizzo delle aree;
- Le soluzioni presentano gli stessi tipi di strutture realizzative.
- Si precisa che il suddetto ATF della DEGM è stato approvato dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici con adunanza del 17/02/2015.

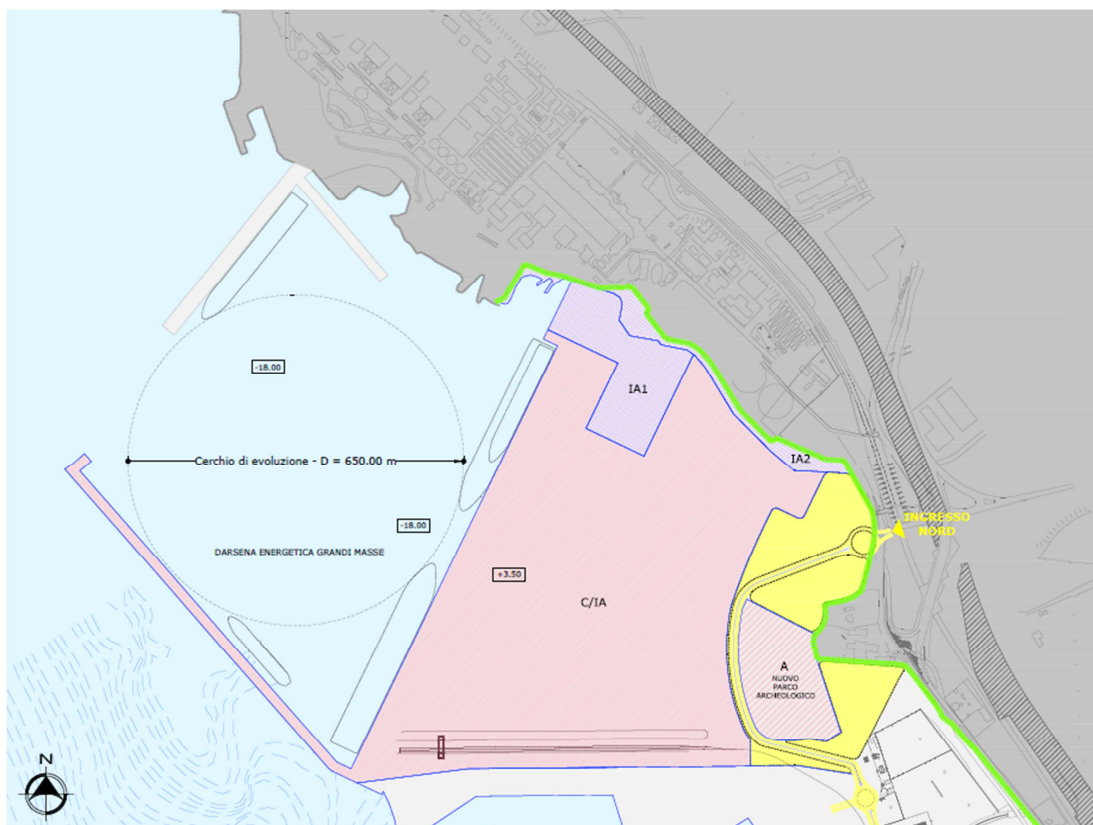


Fig. 4 - Nuova zonizzazione di P.R.P. a seguito di A.T.F. 2014.

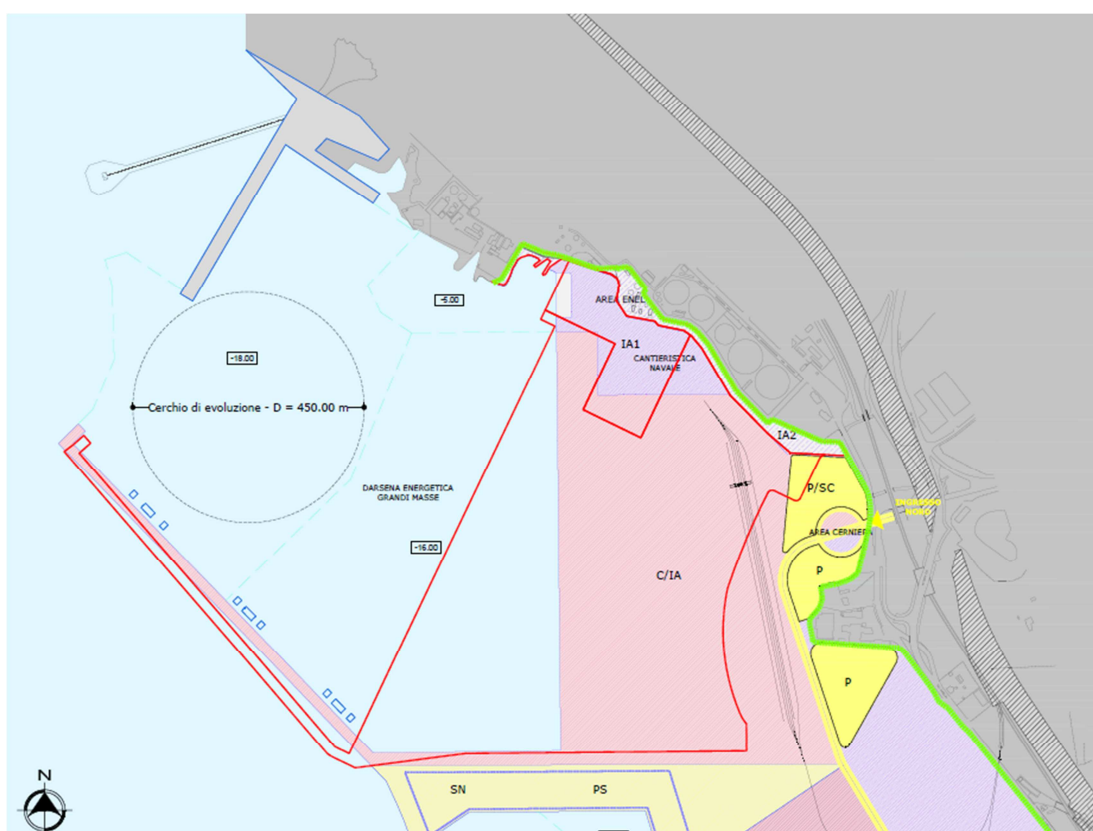


Fig. 5 - Sovrapposizione nuova configurazione D.E.G.M. su P.R.P. 2004.

Si precisa che il suddetto ATF della DEGM è stato approvato dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici nell'adunanza del 17/02/2015.

1.1.1.3. Sintesi del progetto per le opere incidenti sul SIC IT6000005

Le opere portuali interessate ad una possibile incidenza sul SIC IT6000005 sono quelle localizzate nella parte nord dell'ambito portuale di Civitavecchia come definito nel P.R.P. 2004 e nello specifico sono il "I Lotto Opere Strategiche" e la "Darsena Energetica Grandi Masse".

La porzione del SIC IT6000005 direttamente interessata dalle opere è quella più meridionale per un'estensione di circa 74 ha così suddivisi:

- a) I Lotto Opere Strategiche $\approx$ 17.0 ha
- b) Darsena Energetica Grandi Masse $\approx$ 57.0 ha

La rimanente porzione del SIC IT6000005 viene comunque indagata per le possibili incidenze indirette.

I lavori relativi al "II Lotto Funzionale" che prevede l'apertura del porto a Sud non interessa direttamente il SIC marino IT6000006 "fondali tra P.ta Pecoraro e Capo Linaro" ma lambisce lo stesso per un'estensione trascurabile.

Anche in questo caso, tutta la rimanente parte del SIC viene indagata per valutare le possibili incidenze indirette.

Tabella e Figura 1.1.1.3. Sintesi delle opere e dei volumi, aree e profondità interessati.

Opera:	Volumi dei sedimenti da movimentare	Batimetria prevista (max)	Metodologie	Porzione dei SIC interessati dalle opere
D.E.G.M.: Totale	5.340.000 m ³	-18 m s.l.m.	Draga di tipo meccanico: D-TYPE <i>(Dipperdredger)</i> ; Draga di tipo idraulico: <i>Cutter Suction Dredge</i> (CSD).	≈ 57.0 ha Di cui: ≈ 50.3 ha per la D.E.G.M. 2a: Molo di sopraflutto; banchina polifunzionale e di riva e gran parte del bacino portuale E ≈ 6.7 ha per la D.E.G.M.2b: Pontili primario e secondario, per scarico rinfuse solide dell'ENEL
I Lotto Opere Strategiche (Darsena Traghetti e Servizi e Prolungamento antemurale C.Colombo)	1.346.707,86 m ³	-17 m s.l.m.	Draga di tipo meccanico: D-TYPE <i>(Dipperdredger)</i> ; Draga di tipo idraulico: <i>Cutter Suction Dredge</i> (CSD).	≈ 17.0 ha
Nuovo accesso al Bacino storico: apertura a sud	104.000 m ³	-12 m s.l.m.	Draga di tipo meccanico: D-TYPE <i>(Dipperdredger)</i> ; Draga di tipo idraulico: <i>Cutter Suction Dredge</i> (CSD).	Non interferisce direttamente con il SIC

1.1.1.4. Il Lotto funzionale delle Opere Strategiche

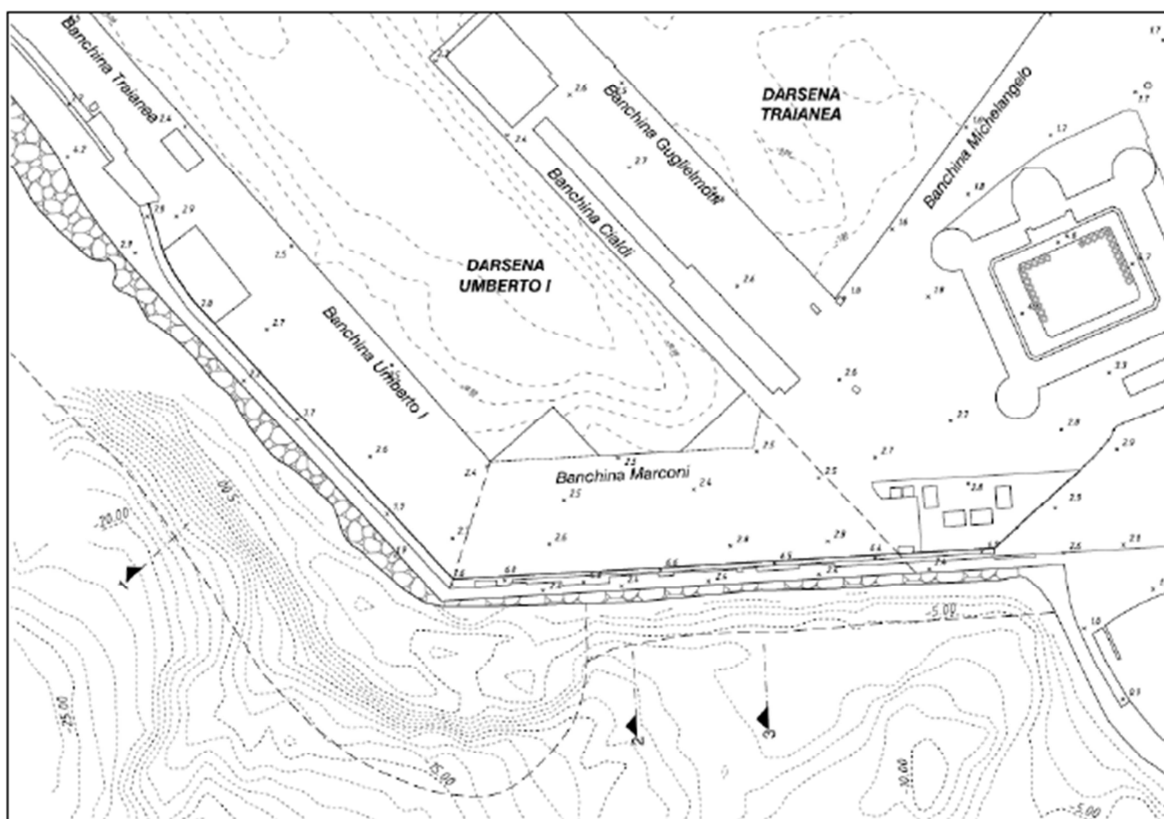
Oltre ai progetti finora descritti, sempre nell'ambito dello sviluppo futuro del porto di Civitavecchia, vi sono altri interventi che risultano contenuti nel Piano Regolatore Portuale.

Tra di essi figurano gli interventi, relativi alla realizzazione del nuovo accesso al bacino storico, che sono oggetto della presente VINCA in quanto interferenti, seppure indirettamente, con la porzione più settentrionale del SIC IT 6000006

La realizzazione del nuovo accesso comprende le seguenti opere marittime:

- a) prolungamento di circa 400 m verso sud della diga foranea;
- b) demolizione del radicamento a terra della diga foranea per la realizzazione del canale di accesso e relativo adeguamento dei fondali;
- c) ricostituzione dei fronti di banchina nelle aree soggette a demolizione e sistemazione delle pavimentazioni.

Il progetto preliminare delle opere è stato approvato dal CIPE con la Delibera 103/2004.



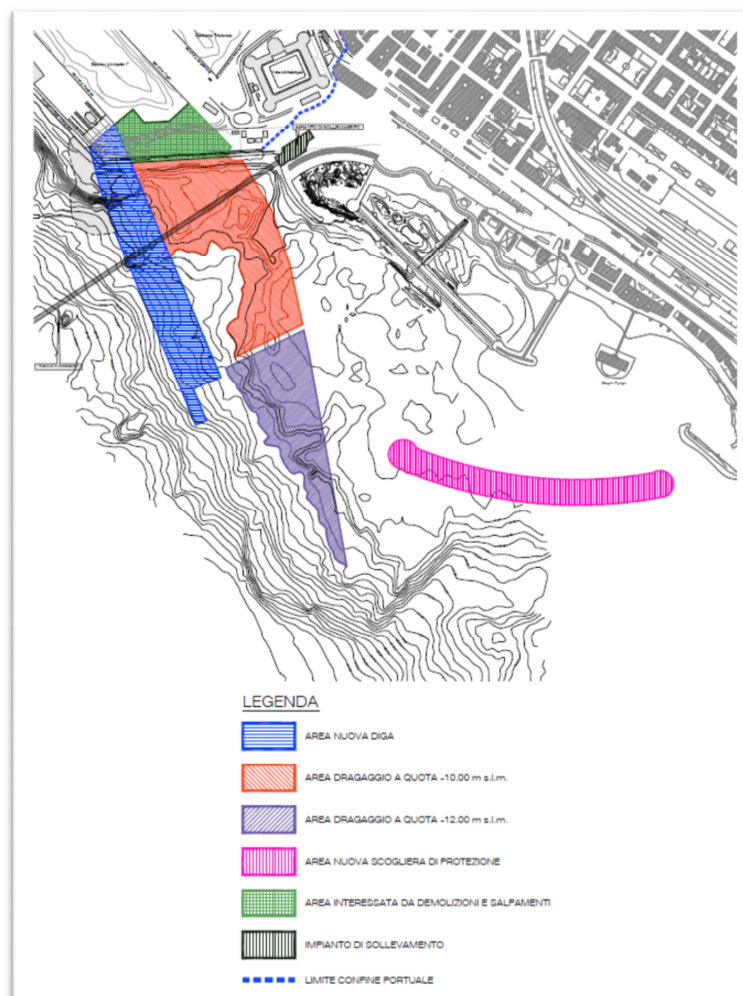
Planimetria dello stato attuale in corrispondenza dell'area di intervento.

Come accennato la finalità del presente progetto è quella di realizzare un nuovo accesso al bacino portuale che consentirà l'ingresso delle imbarcazioni dal lato sud del porto, con il conseguente vantaggio di poter meglio razionalizzare le destinazioni d'uso delle aree portuali ed i relativi traffici operando una separazione della parte a prevalenza commerciale dal resto delle attività portuali.

Per ottenere tale risultato si rende necessario attuare i seguenti interventi:

1. costruzione di una nuova opera di difesa in prolungamento dell'antemurale esistente in direzione sud;
2. adeguamento delle banchine esistenti mediante la costruzione di nuove opere di contenimento dei terrapieni;
3. demolizione della banchina Marconi e della relativa opera di difesa;
4. escavazione di un canale di accesso di adeguata profondità per consentire il transito delle navi di maggior pescaggio;
5. realizzazione di una scogliera di protezione.

In Figura è riportata la planimetria generale dei suddetti interventi.

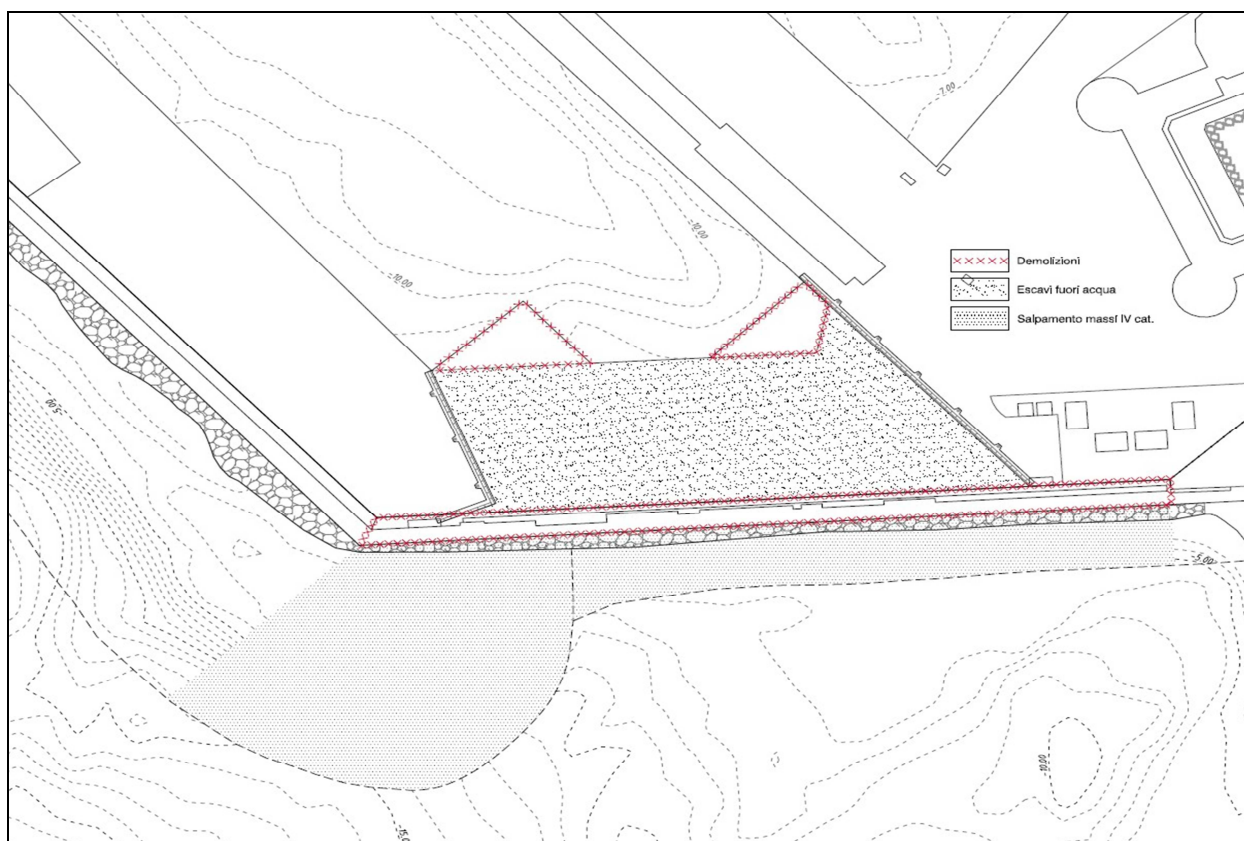


Da una stima preliminare dei volumi in gioco, risulta un volume complessivo di circa 208.000 m³ costituito da:

- dragaggio 104.000 m³,
- demolizioni 34.000 m³
- escavi 70.000 m³

Demolizione della banchina Marconi

La nuova apertura sul lato sud del porto comporta la necessità di salpare le opere di difesa esistenti, demolire le sovrastrutture e le pavimentazioni nelle aree interessate ed infine procedere con l'escavazione dei materiali di riempimento costituenti il terrapieno di banchina come illustrato nella seguente figura.

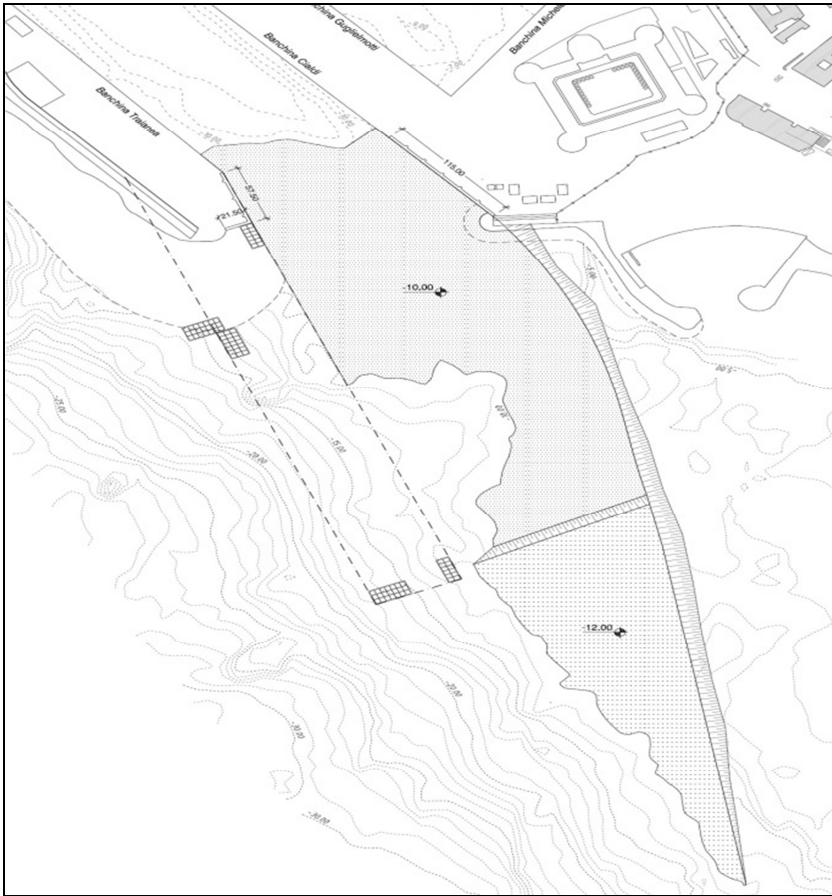


Demolizioni e salpamenti

Dragaggio del canale di accesso

Per rendere funzionale l'opera verrà eseguito il dragaggio dei fondali per garantire il pescaggio necessario alle navi lungo la rotta di ingresso e nelle aree di manovra interne.

A tal fine è stata prevista la regolarizzazione del fondo a quota -12 m s.l.m. nella zona più esterna di detto canale e pari a -10 m s.l.m. in quella interna, come evidenziato nella Figura di seguito riportata.



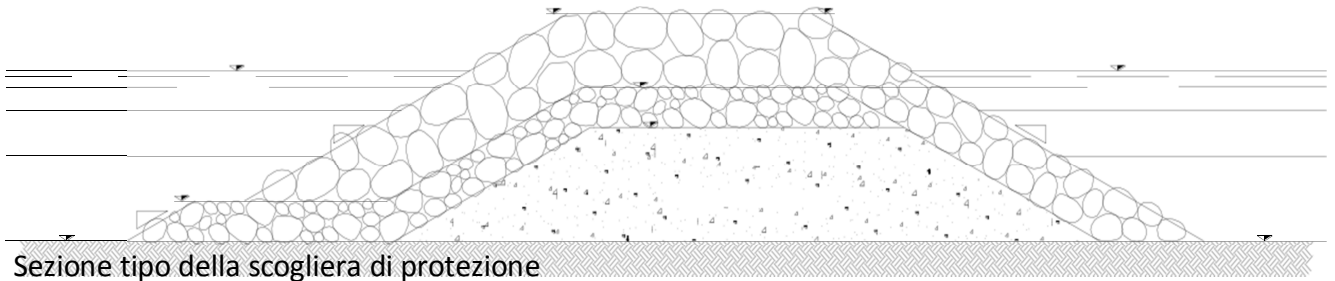
Planimetria dei dragaggi

Scogliera di protezione

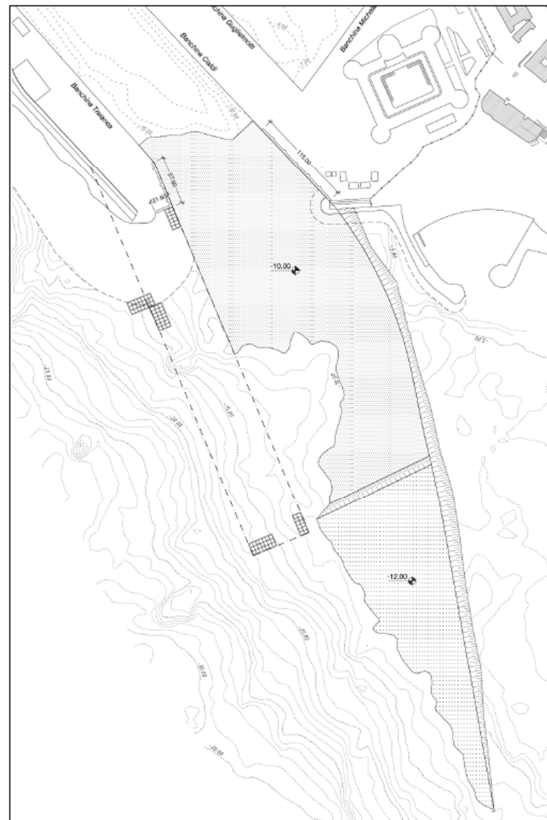
La scogliera di protezione ha la funzione di mitigare gli effetti dell'agitazione ondosa nella porzione di mare compresa tra la nuova diga e il "waterfront" cittadino, costituendo un'opera a salvaguardia dei fenomeni erosivi della linea di costa.

La costruzione dell'opera foranea, necessaria per realizzare la nuova imboccatura, costituisce una difesa di buona parte dell'intervento relativo al waterfront dalle mareggiate provenienti dal settore ponente-libeccio. La scogliera di protezione consentirà di mitigare l'agitazione ondosa anche per le mareggiate provenienti da mezzogiorno.

La scogliera verrà realizzata mediante un nucleo in tout venant e uno strato filtro e una mantellata in massi naturali. L'opera, la cui sommità è prevista a quota +2.0 sul l.m.m., sarà tracimabile.



Sezione tipo della scogliera di protezione



Planimetria dei dragaggi.

1.1.2. L'iter autorizzativo

Il vigente PRP è stato concepito anche con l'intento di delocalizzare i traffici commerciali lungo il litorale a Nord dell'abitato di Civitavecchia.

Inoltre, durante l'iter autorizzativo, a causa del lungo e articolato processo di pianificazione, il Progetto ha progressivamente recepito le nuove disposizioni normative entrate in vigore contestualmente allo svilupparsi dello stesso, tra cui le norme di recepimento della Direttiva Habitat.

I passaggi salienti di tale processo sono di seguito rappresentati.

1.1.2.1. Variante al PRP del 1990

L'iter autorizzativo che ha condotto al vigente PRP (PRP 2004) ha avuto inizio nel 1990 con la variante all'ora vigente PRP. La Variante prevedeva:

- L'allontanamento del traffico a rischio di incendio dal resto del porto, attraverso la realizzazione di una idonea darsena petrolifera e l'ampliamento del bacino esistente per separare il traffico crocieristico da quello commerciale e dai traghetti;
- La risoluzione della congestione del traffico a terra (su gomma e ferro) determinata dalle ridotte dimensioni dei varchi e per la commistione dei traffici;
- La risoluzione del problema della scarsa agibilità di alcune darsene non sufficientemente protette dalle ondatazioni provenienti da nord-ovest.

Le fasi citate, per come poi rappresentate anche nell'ambito della procedura di valutazione ambientale avviata nel 1996, relativa alla cd. "variante" del PRP del 1990, ed eseguita proprio in ragione dell'entrata in vigore delle nuove disposizioni in materia ambientale, si è conclusa con la delibera n. 2935/1997.

In tale contesto, il Ministero dell'Ambiente si è espresso positivamente relativamente ad una serie di interventi all'interno del porto storico ma ha ritenuto necessarie ulteriori verifiche relativamente agli aspetti programmatici, progettuali e ambientali posti alla base della realizzazione e del dimensionamento di altre opere, quali la DEGM. Tra gli elementi da approfondire anche gli eventuali effetti sulla prateria di *Posidonia oceanica* ivi presente.

1.1.2.2. La Valutazione di Impatto Ambientale e la Valutazione di Incidenza conclusa nel 2002

In via preliminare, è opportuno segnalare che la minimizzazione dell'impatto ambientale prodotto dalle opere sui SIC ITA 6000005 e sul SIC ITA 6000006 (Habitat prioritario 1120*) rappresenta uno degli elementi fondamentali del processo di pianificazione e progettazione del Porto di

Civitavecchia. Fin dagli inizi, infatti, l'Autorità Portuale, così come il Ministero dell'Ambiente hanno avviato un percorso di studio e ricerca.

Ciò premesso, in ragione dello stralcio del progetto sulla DEGM dal parere VIA del 1997, nel 2001 l'Autorità Portuale di Civitavecchia ha presentato la domanda di pronuncia di compatibilità ambientale in relazione a tale progetto.

Proprio in ragione dei rilievi espressi nel 1997 – anche con riferimento all'impatto sulla *Posidonia oceanica* – nella nuova configurazione progettuale presentata ai fini dell'ottenimento della VIA si è posta particolare attenzione per la risoluzione dei problemi precedentemente evidenziati.

Preso atto che il sito è caratterizzato da un Habitat prioritario, la Commissione di Valutazione di Impatto Ambientale ha effettuato la Valutazione di Incidenza nell'ambito del procedimento di Valutazione di Impatto Ambientale. In effetti, dal punto di vista procedurale, il DPR 357/97, di recepimento della Direttiva Habitat 92/43/CEE, prevede che per i progetti assoggettati a procedura di Valutazione di Impatto Ambientale che interessano proposti siti di importanza comunitaria, siti di importanza comunitaria e zone speciali di conservazione, la Valutazione di Incidenza sia ricompresa nell'ambito della predetta procedura che, in tal caso, considera anche gli effetti diretti ed indiretti dei progetti sugli habitat e sulle specie per i quali detti siti e zone sono stati individuati.

Pertanto, la documentazione relativa alla Valutazione di Incidenza è stata inserita nello Studio di Impatto Ambientale, componente "Ecosistemi marini", elaborato e valutato ai fini dell'ottenimento della VIA n. 6923/2002.

Il risultato è evidenziato nella VIA n. 6923/2002, con la quale il Ministro dell'Ambiente di concerto con il Ministro per i Beni e le Attività Culturali ha espresso, con prescrizioni e condizioni, il parere di compatibilità ambientale riguardo alla realizzazione della DEGM. Nell'ambito di tale decisione sono altresì presenti le considerazioni e l'esito della Valutazione di Incidenza.

1.1.2.3. L'inserimento della Darsena Servizi, della Darsena Traghetti e del Prolungamento antemurale C. Colombo tra le infrastrutture strategiche

Con l'adozione della cd. Legge Obiettivo (L. 443/01), e con il riconoscimento del Porto di Civitavecchia quale porto strategico per lo sviluppo nazionale dei trasporti, alcuni degli interventi previsti nel PRP sono stati inseriti tra i progetti strategici identificati dal CIPE: nello specifico hub portuale Civitavecchia, Lotti 1 e 2 composti da 11 interventi e tra questi la Darsena Servizi e la Darsena Traghetti.

Per quanto riguarda gli aspetti ambientali, il Ministero dell'Ambiente ha espresso parere favorevole con prescrizioni con nota del 20/12/2003.

I successivi stadi progettuali della Darsena Servizi, Traghetti e dell'Antemurale Colombo sono stati oggetto degli iter autorizzativi previsti per le infrastrutture strategiche, conclusi con delibere CIPE di relativa approvazione.

In particolare, il CIPE:

- con Delibera n.103 del 20.12.2004 ha approvato il progetto preliminare delle Opere Strategiche;
- con Delibera n.140 del 21.12.2007 ha approvato il progetto definitivo del Prolungamento antemurale C. Colombo e della Darsena Traghetti e con Delibera n. 02 del 25.01.2008 ha approvato il progetto definitivo della Darsena Servizi.
- L'AP, con nota prot.766 del 17.01.2012 ha trasmesso al Dir. Gen. per le Valutazioni Ambientali e alla CTVA del MATTM, la documentazione concernente il progetto esecutivo del I lotto funzionale delle OS per il porto di Civitavecchia e i progetti esecutivi delle opere di compensazione e dei Piani di Monitoraggio che la stessa Autorità ha posto in essere per prevedere e predisporre eventuali misure mitigative e per convalidare le previsioni d'impatto definite nello SIA. E' stata pertanto avviata la Procedura di Verifica di Attuazione (ex. art. 185 commi 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 08.08.2006, conclusasi con esito positivo con Determina Direttoriale prot. DVA-2014-15194 del 21.05.2014 e reiterando alle successive fasi dell'istruttoria l'attuazione delle altre prescrizioni previste dalle succitate Delibere CIPE.

1.1.2.4. La variante al Piano Regolatore Portuale di Civitavecchia del 2004

L'Autorità Portuale, nell'ottica di realizzare un quadro programmatico entro cui collocare le opere strategiche, ha ritenuto necessario elaborare una nuova versione del PRP, denominata PRP 2004, la quale recepisce anche ulteriori varianti minori studiate nel corso degli anni ("**Varianti Minori**").

In altri termini, anche se la DEGM e le Opere Strategiche avevano già tutte ottenuto il giudizio di compatibilità ambientale, in ragione dell'opportunità di inserire i citati interventi nell'ambito di un quadro unitario di variante al PRP oltre alla necessità di inserire ulteriori opere, di entità contenuta che nel frattempo erano state progettate, è stato avviato l'iter autorizzativo relativo al PRP 2004 che ripercorre i passaggi che erano già stati effettuati in precedenza.

Ciò premesso, con Decreto Interministeriale n. 4 del 9/2/2010 è stato dato un giudizio positivo di compatibilità ambientale del PRP 2004 nel rispetto delle condizioni e prescrizioni precedenti, con particolare riferimento al parere n. 209/2008 della Commissione tecnica di verifica dell'impatto ambientale

Nel citato decreto n. 4/2010 si ribadisce il fatto che devono essere rispettate tutte le prescrizioni, verifiche di ottemperanza, mitigazioni e compensazioni previste dalla VIA n. 6923/2002 e nel parere favorevole della Commissione Speciale VIA del 20/12/2003.

Come già indicato in premessa, la VIA relativa al PRP 2004 non comprende una Valutazione di Incidenza specifica sulle Varianti Minori in quanto le stesse non ricadono in area SIC.

1.1.3. Il Caso EU PILOT 6007/14/ENVI e la VINCA

Conformemente a quanto disposto dall'art. 6, par. 4, com. 2.1, della Direttiva Habitat 92/43/CEE, il MATTM (Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare) in data 29.10.2013 ha trasmesso alla CE il c.d. "Formulario per le Misure di Compensazione", relativamente all'impatto sull'habitat prioritario 1120* (Praterie di *Posidonia oceanica*) dei progetti (DEGM e I lotto Funzionale OOSS), volti a sviluppare l'HUB portuale di Civitavecchia.

Dall'analisi della documentazione, la Comunità Europea ha prospettato un possibile ricorso alla Procedura di Infrazione (ex art. 258 del TFUE) in relazione alle modalità con cui lo Stato membro (attraverso il MATTM) ha recepito le disposizioni di cui all'art. 6.3 e 6.4 nonché degli art. 4.4 e 6.1 della succitata Direttiva.

Il MATTM ha risposto ai quesiti posti dalla CE con note del 14.01.2014, nonché all'ulteriore richiesta di integrazioni.

Nell'ambito della suddetta procedura è emersa l'esigenza di aggiornare la Valutazione di Incidenza che era stata effettuata nel 2001 e ricompresa nell'ambito del SIA alla Variante del Piano regolatore Portuale di Civitavecchia 1997 (Darsena Energetico Grandi Masse), alla luce:

- ÷ delle guide metodologiche alle disposizioni dell'art.6 della summenzionata Direttiva, prodotte dalla CE nel 2002;
- ÷ del mutato scenario normativo (emanazione del DPR 120/2003, regolamento recante modifiche ed integrazioni al DPR 357/1997, concernente l'attuazione della Direttiva Habitat per la conservazione degli habitat naturali e semi-naturali nonché della flora e della fauna selvatiche); si evidenzia infatti che era stata avviata una Procedura di Infrazione (1999/2180) nei confronti dello Stato italiano per la non corretta trasposizione nella normativa nazionale (DPR 357/1997) della suddetta Direttiva Habitat, risolta con l'emanazione del DPR 120/2003;
- ÷ dell'avvenuta ripermisurazione del SIC IT 6000005, la cui superficie complessiva è stata estesa nel 2005 (DGR del 19 luglio 2005, n. 651) dagli originari 74 ha agli attuali 435 ha, aumentando proporzionalmente la superficie potenzialmente impattata dalle realizzande opere;
- ÷ da quanto rilevato negli studi promossi dall'Autorità Portuale nel 2012 nell'ambito della caratterizzazione effettuata preliminarmente all'attuazione della misura compensativa prevista dalle Delibere CIPE nn. 140/2007 e 02/2008.

Si precisa inoltre che la nuova VINCA, che sarà predisposta secondo le disposizioni oggi vigenti, sarà concertata con i Servizi della Commissione Europea e del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare.

1.2. Studio dell'Area vasta e caratterizzazione ambientale tra P.ta S. Agostino e S. Marinella

Il presente studio ha preso in esame il tratto di costa del Lazio settentrionale compreso tra P.ta S. Agostino e S. Marinella. Quest'area è caratterizzata da una elevata complessità geomorfologica e da una costa particolarmente articolata; sul territorio, inoltre, insistono numerose di tipologie di attività di natura antropica, responsabili di molteplici disturbi all'ecosistema marino costiero.

L'aria di studio interessa un tratto di costa lungo circa 16 km all'interno della quale si riscontrano condizioni ambientali estremamente diversificate.

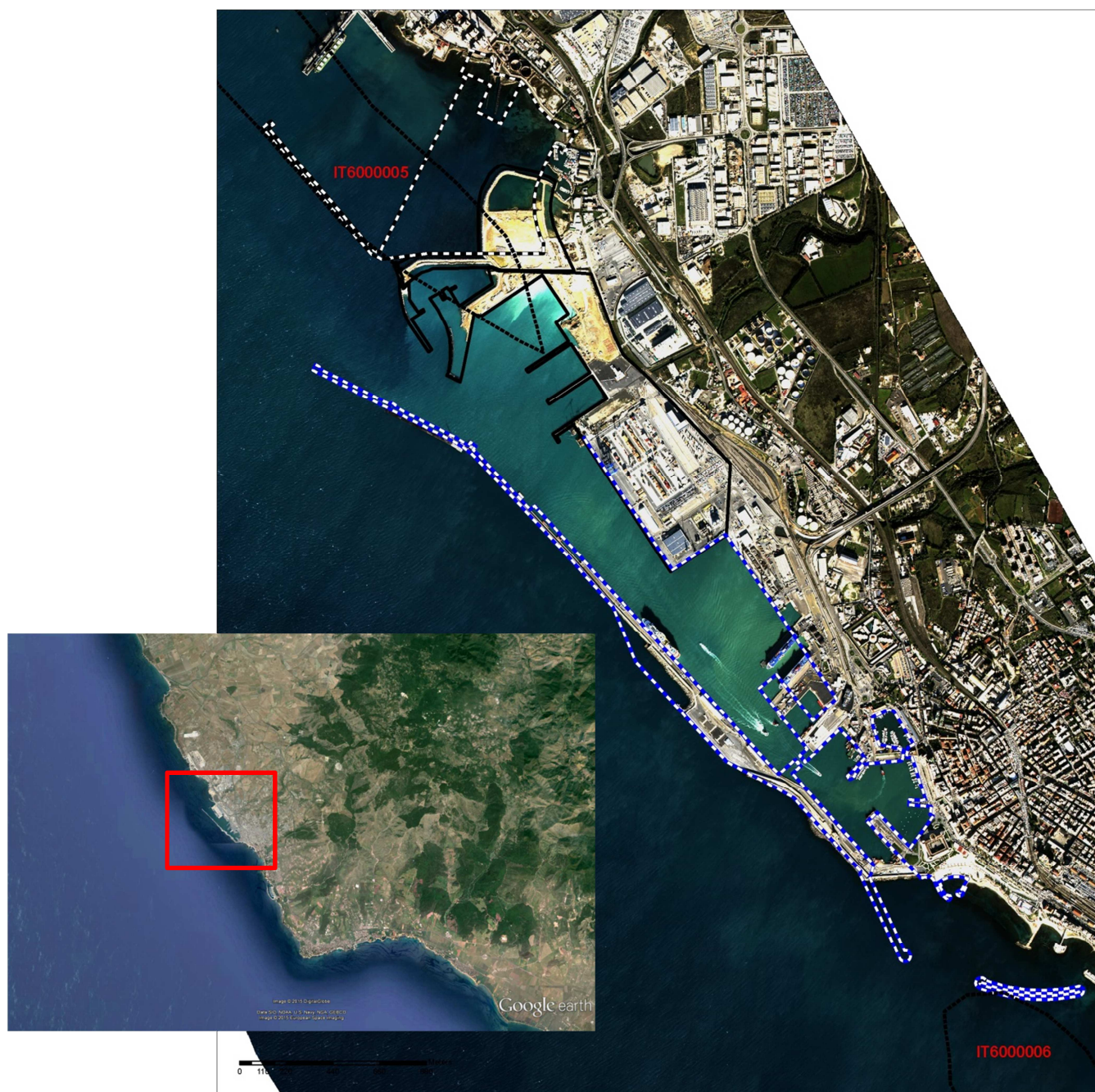


Fig. 7 – Individuazione dell'Area di studio.

1.2.1. Caratteri fisiografici e geologici

L'area oggetto dello studio per la valutazione d'incidenza, sulla quale si inserisce l'*hub* portuale di Civitavecchia, è localizzata lungo la costa Nord della Regione Lazio, ed è caratterizzata dalla presenza di due siti di interesse comunitario (SIC), SIC IT6000005 "Fondali tra P.ta S.Agostino – P.ta della Mattonara" e SIC IT6000006 "P.ta del Pecoraro - Capo Linaro" (fig.24).

Da un punto di vista geomorfologico l'area di studio è una zona costiera (come verrà nel corso dell'elaborato considerata) articolata per circa 17 km di lunghezza ed un'ampiezza verso mare e verso terra, in cui vengono considerati come limite inferiore l'isobata dei -50 m e come limite superiore l'isoipsa dei +15 m, corrispondenti almeno parzialmente alle aree interessate dai processi di fluttuazione marina del quaternario. Includendo sia le aree che risentono direttamente dell'influenza del mare, sia le aree che ricadono al di fuori del suo raggio d'azione, ma che possono conservare caratteristiche geomorfologiche tali da individuare le variazioni eustatiche avvenute durante il Periodo delle Glaciazioni; oppure mostrare una relazione funzionale con le prime, poiché sono sede di attività antropiche che esercitano pressioni significative sugli ecosistemi costieri (da G. Nascetti, S. Martino, 2009).

La morfologia sommersa del fondo marino, rientra in un settore di piattaforma continentale che si sviluppa fino a -150 m di profondità, la cui estensione nel tratto di costa tra M. Argentario e Capo Linaro è più estesa, rispetto alla restante piattaforma laziale che si presenta più stretta ed acclive (Savelli e Wezel, 1980). Questo tratto di piattaforma è definito come un margine continentale passivo molto giovane, essenzialmente di età pliocenica e quaternaria (da 5 milioni e mezzo di anni fa all'attuale), dominato da sedimentazione detritica in regime di assai modesta escursione di marea (Bartole, 1990; Chiocci, 1989).

Nel tratto compreso tra Torre Sant'Agostino e Capo Linaro, si assiste ad un aumento della pendenza media del fondo, cui corrisponde la presenza di una costa bassa e rocciosa con l'isobata dei 10 m distante 500 m dalla linea di riva.

Un elemento caratteristico è dato, soprattutto nelle aree sottocosta intorno ai 5-15 m di profondità, dalla presenza di alti morfologici riferibili ai complessi geologici presenti in terraferma, *flysch* della Pietraforte, (F.L. Chiocci, G.B. La Monica, 1999).

Condizioni eustatiche diverse dall'Attuale, hanno caratterizzato il margine continentale tirrenico, non compatibili con l'attuale posizione del mare (come è testimoniato dalle differenze riscontrate tra le unità sismiche che costituiscono il margine ed i depositi olocenici, dai lineamenti morfosedimentari come incisioni sulla piattaforma, spiagge e costruzioni carbonatiche sulla piattaforma media ed esterna ed incisioni lungo la scarpata superiore, Marani *et al.*, 1986; Chiocci *et al.*, 1997).

La piattaforma continentale nel tratto di costa in esame, è caratterizzata geologicamente, dal basso verso l'alto (come hanno permesso di riconoscere le indagini sismiche condotte lungo il margine tirrenico laziale; Chiocci, 1991; Chiocci e La Monica, 1996; 1999), da un basamento acustico (S in fig.1, interpretazione del profilo sismico, è stato impiegato come sorgente un *Sub Bottom Profiler*) su cui poggia una potente

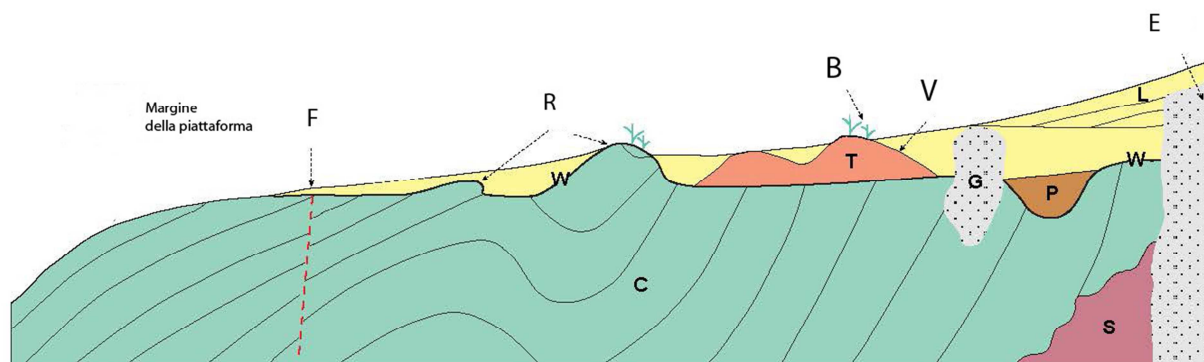


Fig. 8 - Schema dei principali elementi di diversa origine, estensione e importanza che caratterizzano la piattaforma continentale laziale. B Praterie di fanerogame e/o biocostruzioni ad opera di organismi coralligeni; **C** Sedimenti di età pleistocenica, clinostratificati; **E** Fascia, prossima alla battigia ove è impedita la penetrazione del segnale sismico; **F** Faglia; **G** Adunamenti di gas; **L** Sedimentazione litorale attuale; **P** Paleoalveo; **R** Relitti d'erosione, in genere corrispondenti a testate

serie clinostratificata troncata al tetto da una superficie d'erosione subaerea; la successione termina con la sequenza deposizionale post-glaciale.

Il basamento acustico è stato correlato da Bartole (1984; 1990) alle unità geologiche dell'Appennino ed in particolare, ai depositi flyschiodi liguridi di età Cretacico-Paleocenica (probabilmente Pietraforte) che costituiscono il Promontorio di Capo Linaro (fig. 25). La serie clinostratificata di età pleistocenica (da 2.000.000 a 20.000 anni fa), localmente interessata da paleoalvei, presenta una stratificazione che evidenzia l'assetto progradante e la pendenza del fondo marino sui cui si sono depositati i sedimenti, la cui inclinazione, maggiore verso largo, indica una deposizione in ambiente di scarpata continentale (Marani et al., 1986; Chiocci e La Monica, 1996; 1999). In seguito tali depositi sono stati parzialmente erosi (fino alla profondità attuale di - 150 m), testimoniando l'emersione della piattaforma continentale durante le fasi di basso stazionamento eustatico (*lowstand*), durante la massima espansione del glacialismo würmiano, 20.000 - 18.000 anni fa (Chappel e Shakleton, 1986; Williams, 1988).

Successivamente, nel corso della trasgressione versiliana (18.000 - 8.000 anni fa), la piattaforma è stata progressivamente sommersa dal mare; pur non essendo stata di tipo deposizionale, ha lasciato in alcune aree, depositi trasgressivi che sono ciò che rimane dei sedimenti costieri che si

sono formati durante la risalita del mare. Tali depositi sono caratterizzati da una base piatta e un tetto ondulato, causato dalla rielaborazione subita in seguito al passaggio della linea di riva.

L'arretramento della linea di riva ha avuto termine fra 8.000 e 6.000 anni fa, quando è stato raggiunto l'attuale livello del mare (Fairbanks, 1989). A partire da quel momento, sulla piattaforma continentale è iniziata così la deposizione dei sedimenti olocenici, che in piattaforma esterna sono costituiti prevalentemente da sedimenti sottili (non superiore alle sabbie fini), drappeggianti le morfologie sottostanti; nei tratti costieri ove si aveva un sufficiente apporto di sedimenti di origine fluviale, si è manifestato un generale avanzamento della linea di riva (come testimoniano le evidenze archeologiche e dalla presenza dei laghi costieri), imputabile quasi totalmente all'accumulo sedimentario. In questo secolo, per cause diverse fra cui non sono da trascurare quelle antropiche, si è avuto in molti settori un nuovo arretramento della linea di riva, con notevole riduzione dell'ampiezza degli arenili, nella maggior parte dei casi dovuta alla diminuzione degli apporti sedimentari di origine continentale.

Un elemento caratteristico individuato nell'area di studio, attraverso l'aiuto di precedenti campagne (Il mare del Lazio, 1996), è la presenza di allineamenti di alti morfologici che anche per il loro parallelismo rispetto alle isobate, possono essere interpretati come paleocordoni litorali. Questi sono in parte affioranti sul fondo marino, in parte ricoperti dai sedimenti più recenti di diverso ambiente di sedimentazione. I paleocordoni hanno uno spessore massimo di 20-25 m ed una larghezza di 600-1000 m. Il principale di questi corpi si trova tra i -55 e i -65 m di profondità, gli altri si trovano a -35 m, -30 m e -25 m. Nella zona compresa tra -10 e -30 m (verificare con Stefano) le praterie di *Posidonia oceanica* presenti, sono spesso impostate su testate di strato o su fondali con sedimenti grossolani, creando sul fondo alti morfologici molto estesi (F.L. Chiocci G.B. La Monica, 1996).

Dai rilievi batimetrici e dai campionamenti sui fondali, presenti in letteratura, è stato messo in evidenza che il limite interno degli affioramenti rocciosi si mantiene intorno ai -4 m nella zona più settentrionale, con una soluzione di continuità con gli affioramenti di calcarenite fossilifera cementata ("panchina" del Pleistocene medio-superiore; Qt nella carta geologica) e di *flysch* aranaceo-marnoso ("pietraforte" del Cretacico superiore; Pf nella c.g.) presenti in terraferma, con un limite esterno che giunge fino ai -25 m, (F.L. Chiocci G.B. La Monica, 1996).

I depositi più antichi affioranti nelle aree emerse sono quindi costituiti da sedimenti torbiditici, arenacei e calcareo-marnosi, che costituiscono i "*Flysch* della Tolfa" e fanno parte dell'Unità dei *Flysch* alloctoni di età compresa tra il Cretacico Superiore e l'Oligocene. Si tratta di litotipi legati alla costruzione di una precoce catena al termine della chiusura del bacino ligure-piemontese. I resti di tale catena, sono sepolti nell'area tirrenica centrale, e nell'area tolfaiana. Questi sedimenti, che sono ampiamente diffusi da S. Marinella a nord di Civitavecchia e sui Monti della Tolfa, sono stati messi in posto durante la fase tettonica oligocenico-aquitana. A partire dal Miocene l'evoluzione del margine tirrenico del Lazio è condizionata dalla tettonica distensiva connessa all'apertura del bacino tirrenico. Durante i momenti di subsidenza, che si verificano in concomitanza con le prime fasi dell'apertura, si depositano le Arenarie di Manciano, trasgressive

sulla serie flyschoidale, che affiorano a Bagni di S. Agostino a N di Civitavecchia (Fazzini *et al.* 1972). Al Messiniano inferiore (Miocene superiore) sono ricollegabili i sedimenti pre-evaporitici ed evaporitici, diffusi nelle aree a N di Civitavecchia. Con l'esaurirsi alla fine del Messiniano della crisi di salinità che ha interessato il Mediterraneo durante il Miocene, nel Pliocene inferiore l'ingressione marina è favorita, oltre che da fasi tettoniche distensive, anche da una subsidenza a carattere regionale; proprio nel Pliocene inf. si formano e si approfondiscono due bacini a N ed a S di Civitavecchia. Nel Pliocene medio un generale ritiro del mare è collegato a fasi tettoniche di sollevamento ed è evidenziato dal contatto diretto tra depositi di spiaggia (*Macco*) e peliti di piattaforma continentale del Pliocene inferiore. Nel Pliocene superiore, sempre a seguito di fasi tettoniche distensive, si verifica l'ampliamento ed il parziale approfondimento dei bacini. Attorno ai 2 Ma inizia a manifestarsi il vulcanismo acido con l'attività dei distretti cerite e tolfetano (De Rita *et al.* 1992).

La morfologia della spiaggia sommersa risente di quanto presente lungo la fascia costiera tra P.Ta S. Agostino e Capo Linaro che si presenta come una costa articolata con un sistema di diffuse ripe rocciose, lungo le quali si localizzano piccole spiagge ciottolose. Modesti sistemi idrografici, incidono l'arco costiero, il più esteso dei quali è il fiume Marta e Mignone (Tarquinia) più a Nord, il fosso Fiumaretta ed il fosso Marangone (il cui *thalweg* rappresenta il limite amministrativo tra i comuni di Civitavecchia e S. Marinella), di minore estensione seguono Monna Felicità e Torre Orlando, il Fosso del Prete, dell'Infernaccio, della Scarpatoria, del Malpasso, del Castrato e del Fosso del Castelsecco (S. Marinella).

Questi corsi d'acqua apportano al litorale, i materiali provenienti dal disfacimento degli affioramenti per lo più vulcanici plio-quadernari dei monti Vulsini, Cimini, Sabatini e del Complesso Cerite-Tolfetano, degli affioramenti del complesso dei *flysch* argilloso-marnosi-calcarenitici cretaceo-oligocenici e dei sedimenti clastici plio-quadernari.

Nel sistema costiero esiste una stretta correlazione tra sedimenti e morfologie, che spesso consente l'identificazione dei diversi cicli deposizionali.

La sedimentazione pleistocenica, come già visto, è caratterizzata da una notevole ciclicità connessa con le oscillazioni del livello marino e dalla sovrapposizione di movimenti tettonici disgiunti. Alla tettonica pleistocenica sono anche ricollegabili, a partire da circa 0.8 M.a., le manifestazioni che hanno portato alla costruzione dei distretti vulcanici alcalino-potassici (Monti Sabatini, Vulsini, Cimini e Colli Albani), che condizionano l'evoluzione delle aree costiere tirreniche dell'Italia centrale. A N di Civitavecchia si vanno depositando sedimenti di ambiente costiero, da marino a lagunare a fluvio-lacustre, con intercalazioni diffuse di vulcaniti.

Nel settore settentrionale sono infatti presenti estese superfici sub-pianeggianti, che si sviluppano tra le isoipse dei 2 e 25 m, nel settore meridionale invece, prevale la tipologia di costa acclive, con spianate di ampiezza decisamente limitata, generalmente localizzate alla base dei versanti tra le isoipse 5 e 40 m s.l.m.

Tali superfici sub-pianeggianti rappresentano il paleosistema morfologico costiero, costituito da elementi di piattaforma di abrasione coincidenti con i vari episodi trasgressivi marini. Ogni ciclo eustatico, con stazionamento marino di durata sufficientemente lunga, ha consentito infatti la creazione di una propria superficie di spianamento, la cui base marcata da una linea di discontinuità, coincide con il livello massimo della trasgressione. Dette discontinuità morfologiche possono configurarsi come una vera e propria parete rocciosa (paleofalesia s.s.) o come pendio diversamente inclinato rispetto al contesto morfologico in cui si imposta. Ciascun sistema appare pertanto, morfologicamente definito dalla scarpata che lo delimita verso costa (falesia della successiva fase trasgressiva) e dalla base della discontinuità che lo limita verso l'entroterra (falesia della fase eustatica che lo ha generato). Questo peculiare elemento morfologico collegato all'eustatismo, presente in area costiera, è definito terrazzo marino (fig. 20).

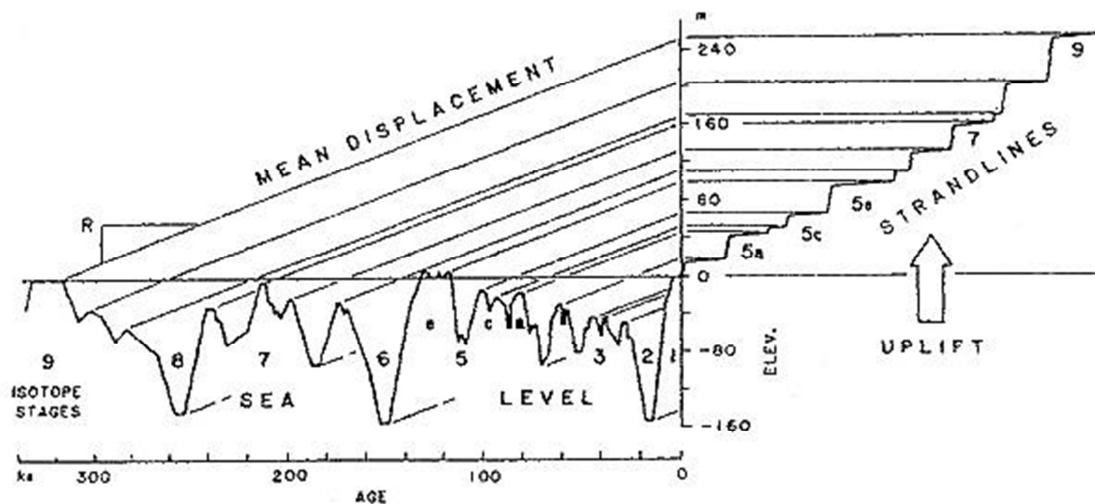
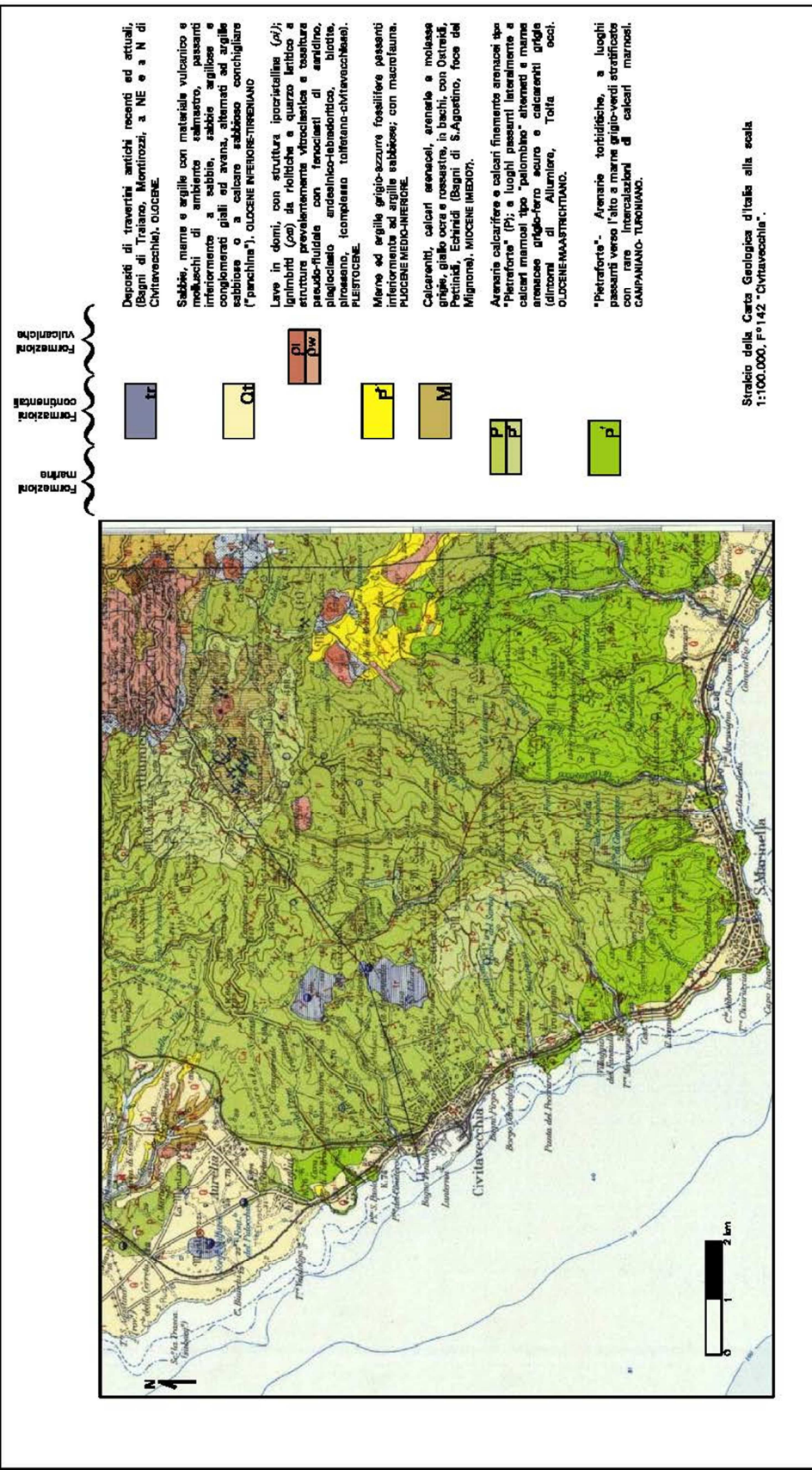


Fig. 9 - Origine dei terrazzi marini (Chappell, 1983).

Carta Geologica



Stralzo della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000. F.º 142 "Civitavecchia".

1.3. Descrizione generale dei SIC: IT6000005 e IT6000006 e delle prospicienti aree costiere



Fig. 10 – Inquadramento dell'area di studio di Civitavecchia e dei Siti di Interesse Comunitario: SIC 6000005 e SIC 6000006.

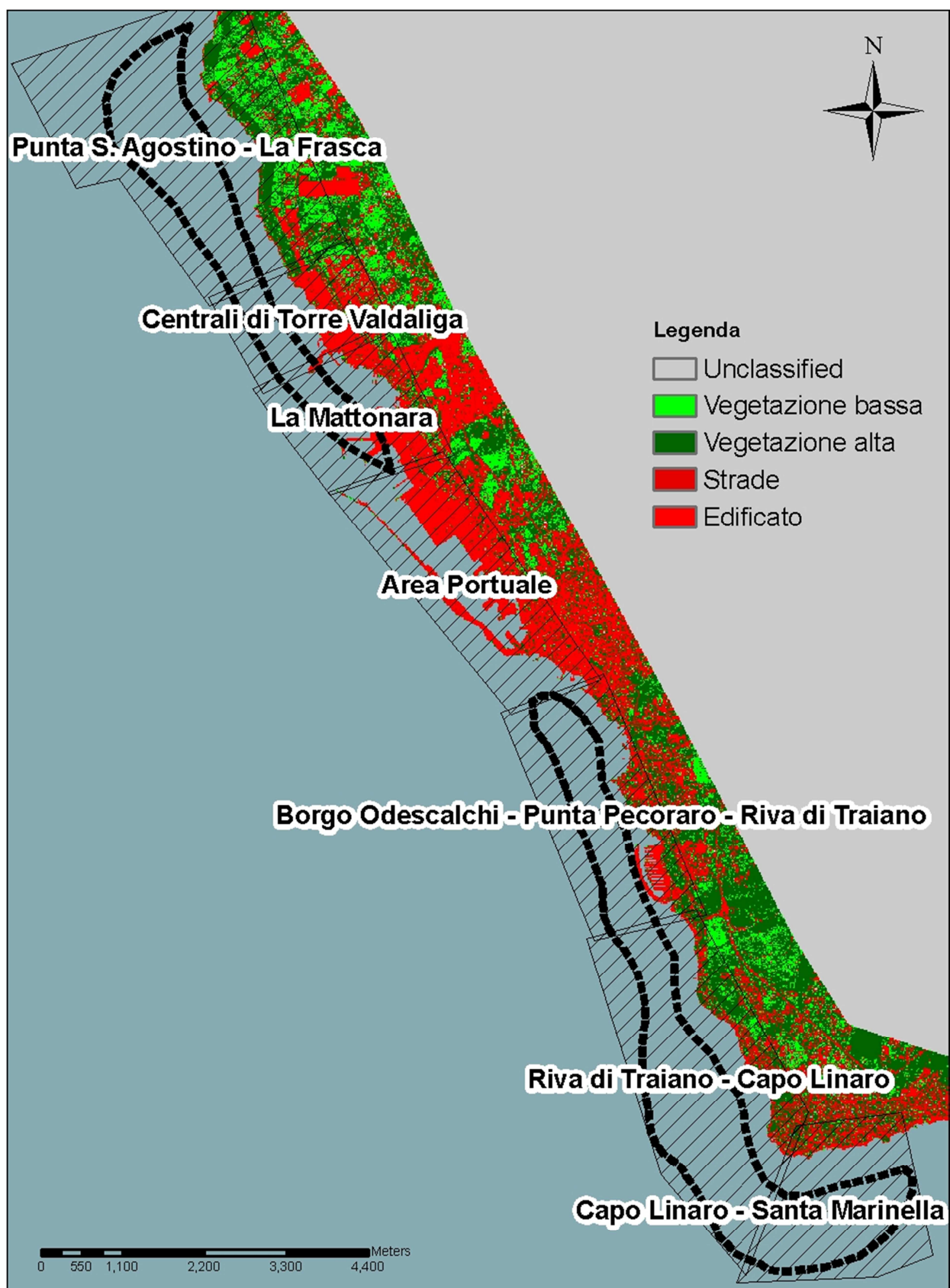


Fig. 11 – Inquadramento dell’area di studio di Civitavecchia con evidenziazione delle aree edificate e delle aree a verde

1.3.1. SIC IT6000005 tra i Fondali tra P.ta S. Agostino e P.ta Mattonara

Il SIC IT6000005 comprende i fondali tra Punta S. Agostino e Punta della Mattonara (Fig.19) è un'area inclusa nella lista dei Siti di Interesse Comunitari proposti dalla Regione Lazio, con una estensione prevalentemente longitudinale di ~6.5 km (~700 m ricadono nel comune di Tarquinia) ed una superficie di 435 ha. Le batimetriche interessate, sono quelle tra i -5 m ed i -20 m, occasionalmente si raggiunge la profondità di -25÷30 m dal l.m.

Nel formulario standard Natura 2000 sono riportate le principali caratteristiche del SIC in questione, di seguito elencate (Tab. 1.3.1), secondo quanto previsto dalla Direttiva Habitat 92/43/Cee.

L'ultimo aggiornamento del formulario standard natura 2000, a carico del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, risale al periodo di Ottobre 2013.

Habitat	• Praterie di Posidonia 1120* ¹ • Scogliere 1170 ²
Nome	Fondali tra Punta S. Agostino e P.ta della Mattonara
Superficie	435 ettari
Codice Natura	SIC IT6000005
Lunghezza sito	5 Km
Localizzazione centro sito (gradi decimali)	11.7386111111111 42.1372222222222
Regione Biogeografica	Mediterranea
Percentuale di copertura dell'habitat	100%
Rappresentatività	¹ A/ ² A
Superficie relativa	¹ C/ ² C
Grado di conservazione	¹ C/ ² C
Valutazione generale	¹ C/ ² C
Altre specie importanti del sito	1001 <i>Corallium Rubrum</i> ; 1028 <i>Pinna nobilis</i> ; <i>Posidonia oceanica</i>
Altre caratteristiche sito	Ambiente marino bentonico

Tabella 1.3.1- Formulario standard 2000 del SIC IT6000005

Le opere portuali interessate dall'interferenza con il SIC IT6000005 sono quelle localizzate nella parte nord dell'ambito portuale, come definito nel P.R.P. 2004, nello specifico sono: "I Lotto Opere Strategiche e la Darsena Energetica Grandi Masse".

La porzione del SIC IT6000005 interessata è essenzialmente quella meridionale. Storicamente, a seguito dei vari ampliamenti portuali attuati l'ambiente è da definirsi praticamente portuale, il sedime è essenzialmente roccioso e la prateria di posidonia si presenta molto frammentaria.

La porzione meridionale del SIC IT6000005 occupata dalle opere portuali, può essere stimata nell'ordine di circa 74 ha.

- **P.ta S. Agostino - La Frasca**

L'area tra P.ta S. Agostino (Lat. 42°09'27"N; Long. 11°44'01"E) e l'area a nord di Torre Valdaliga (Lat. 42°08'00"N; Long. 11°44'57"E), estesa per circa 3.3 km (fig. 25) è caratterizzata da una fascia costiera bassa e rocciosa, a scarso indice antropico e nel tratto centrale da una pineta (La Frasca), rappresentata dal pino domestico (*Pinus pinea*).

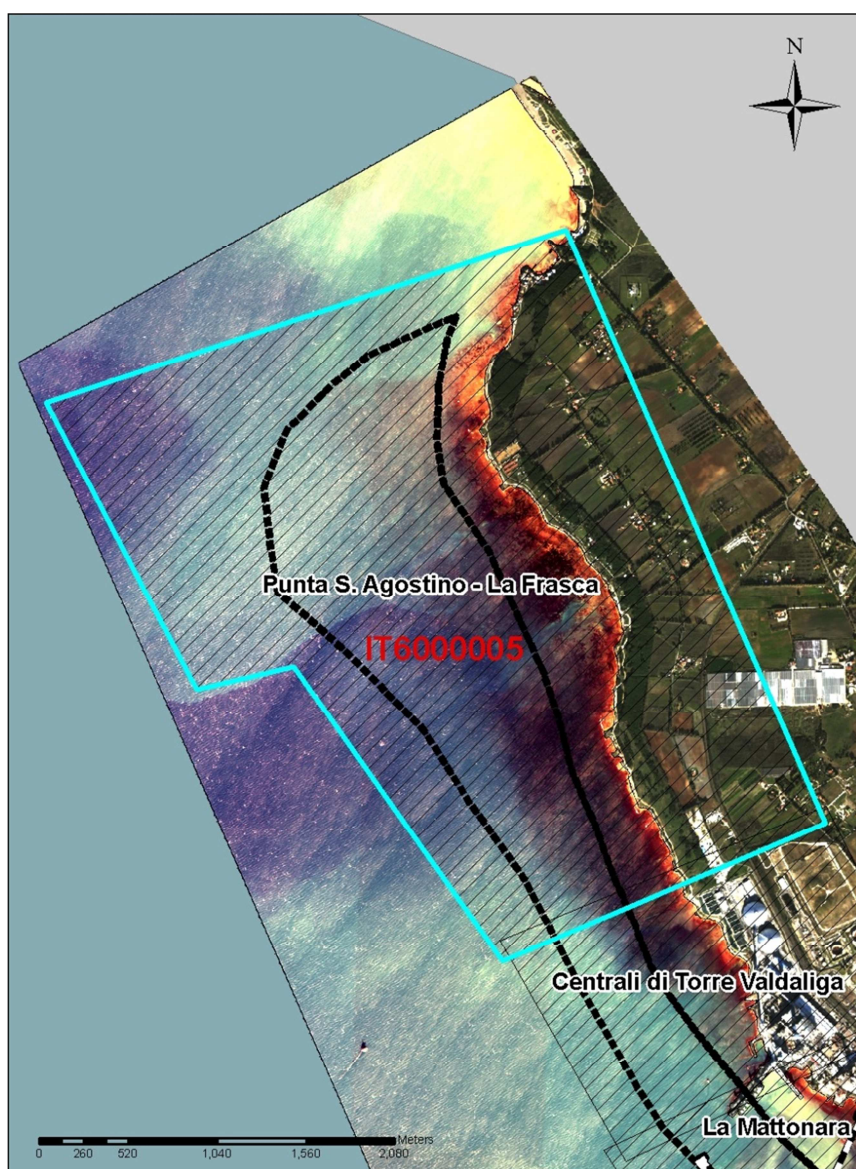


Fig. 12 – Ubicazione dell'area tra P.ta S. Agostino-La Mattonara.

Da un punto di vista geomorfologico si tratta di un'area in massima parte sub-pianeggiante, i cui caratteri morfologici permettono di individuare l'evoluzione di un ciclo deposizionale legato alle variazioni glacio-eustatiche del livello del mare. In particolare, tale *piattaforma di abrasione* (legata ad uno stazionamento marino di durata sufficientemente lunga da consentirne la formazione), è interrotta da una superficie di discontinuità costituita da una *scarpata* coincidente con l'attuale linea di costa, individuando un elemento morfologico ben preciso, un terrazzo marino del 1° ordine.

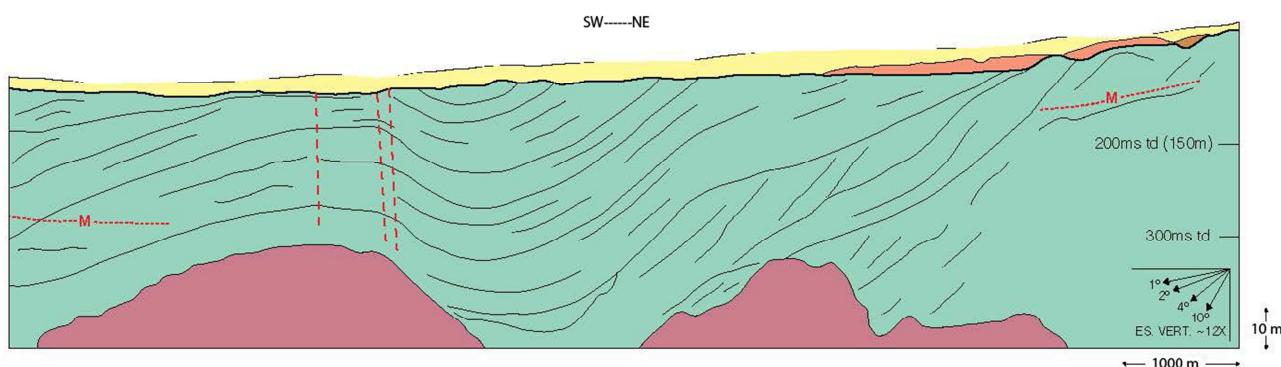


Fig. 13 - Interpretazione del Profilo *sparker* al traverso di T.re S. Agostino, (da F. L. Chiocci, G.B. La Monica, 1999, modificato).

L'area che ospita la pineta è denominata oggi "La Frasca", è stata impiantata negli anni Cinquanta dall'Ente Regionale per lo Sviluppo Agricolo del Lazio (in sigla E.R.S.A.L.), con funzione di frangivento, per la difesa delle colture agricole delle aree retrostanti, diventando poi proprietà della Agenzia Regionale Innovazione e Sviluppo Agricoltura Lazio (in sigla A.R.S.I.A.L.). La pineta è stata dichiarata bene di notevole interesse ambientale con D.M. del 1975 ed è stata sottoposta, relativamente all'entroterra e alla fascia costiera, a vincolo di inedificabilità ai sensi dell'art. 1 ter della cosiddetta "legge Galasso" n. 431 del 1985. Nonostante i danni poi portati al patrimonio selvicolturale, la flora e la fauna della zona "La Frasca" sono estremamente vari: anche per tali motivi il Piano Territoriale Paesistico (P.T.P.) ambito territoriale n. 2 denominato "Litorale nord", adottato dalla Giunta Regionale del Lazio con deliberazione n. 2268 del 1987 e poi definitivamente approvato con la legge regionale n. 24/1998, ha inserito la pineta fra le aree boscate "Beni A5 – Boschi di tutela integrale". Notevolissima anche dal punto di vista archeologico è rilevanza del sito, qualificato nel P.T.P. n. 2 come "zona archeologica a tutela orientata". Sono documentate inoltre testimonianze relative all'epoca preistorica e protostorica e soprattutto all'età romana. Oltre quindi all'intrinseco valore naturalistico ed archeologico, un patrimonio la cui preservazione si impone come di fondamentale importanza, il sito è stato inserito nel progetto Oloferne del WWF, che tra il 1995 ed 1996 ha censito i tratti di costa di sviluppo di almeno 3 km liberi da opere umane.

Proprio per tutelare questo biotopo di straordinaria importanza “La Frasca” è stata inserita nelle prescrizioni delle varie Valutazioni d’Impatto Ambientale (V.I.A.) relative al porto e alla centrale.

- *(Nel decreto V.I.A. 2935/97, relativo al piano regolatore portuale, è stato prescritto un progetto di riqualificazione ambientale che preveda un sistema di opere a verde da realizzarsi attraverso la messa a dimora di specie arboree ed arbustive rispettose dei caratteri fitoclimatici locali raccomandando che “dovrà essere evitata l’eccessiva infrastrutturazione” anche “in riferimento alla localizzazione dei previsti interventi di supporto alla balneazione (aree di sosta, nuclei di servizio, piattaforme e pontili)”.*
- *Nel decreto V.I.A. 6923/2002 “La Frasca” viene definita l’elemento di maggior pregio ambientale sull’area e per la quale si evidenziano la destinazione a tutela integrale prescritta dal P.T.P. n. 2 e l’esistenza di diversi vincoli ambientali di altrettanta inedificabilità e si ribadiscono le prescrizioni contenute nel precedente decreto Via 2935/97.*
- *Infine nel decreto VIA 680/03, relativo alla riconversione a carbone della centrale di Torre Valdaliga Nord “La Frasca” viene nominata solamente per rendere noto che è sito di interesse comunitario (SIC), e viene definita Parco Urbano.*

- **Centrali di Torre Valdaliga (TV)**

L’area tra Torre Valdaliga Nord (Lat. 42°08’00”N; Long. 11°44’57”E), e la Mattonara settentrionale (Lat. 42°07’13”N; Long. 11°46’02”) estesa per circa 2.4 km, ospita la Centrale elettrica.

Quest’ultima è ubicata in un’area, situata nel territorio del Comune di Civitavecchia, a circa 6 km a N-NW della città, tra la costa tirrenica e la linea ferroviaria Roma-Pisa, che divide il sito in due parti; oltre il rilevato ferroviario è situato il parco serbatoi combustibili e la stazione elettrica, mentre l’impianto di produzione vero e proprio, fino ai trasformatori di macchina, occupa l’area prospiciente la costa tirrenica. Complessivamente l’area occupata dall’impianto è pari a circa 580.000 m², su un’area di proprietà di circa 975.000 m². L’ubicazione della centrale è riportata in figura 26.

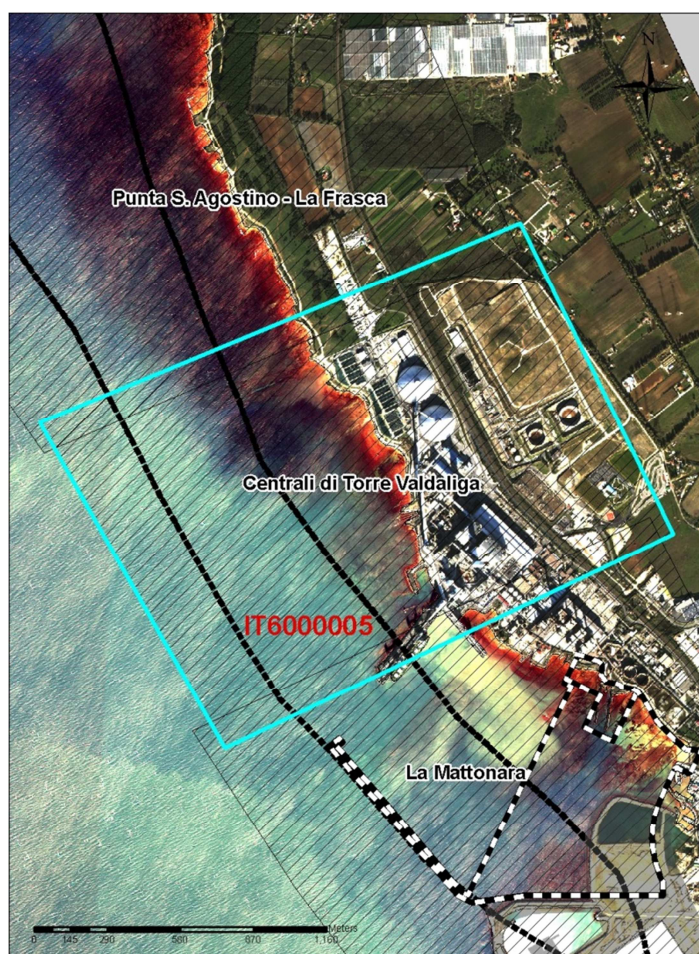


Fig. 14 – Ubicazione dell'area: Centrali di Torre Valdaliga

L'impianto di Torre Valdaliga Nord è esclusivamente dedicato alla produzione di energia elettrica che, a meno degli autoconsumi, viene integralmente immessa nella rete di trasmissione nazionale gestita dalla società Terna.

La centrale termoelettrica ha subito profonde modifiche dovute alla trasformazione a carbone autorizzata con decreto del Ministero delle Attività Produttive n. 55/02/2003 del 24 dicembre 2003. Per l'approvvigionamento del carbone e dei reagenti, nonché per l'allontanamento dei gessi e delle ceneri prodotte sono state realizzate due nuove banchine portuali nello specchio di mare antistante la centrale.

Per il raffreddamento si utilizza il pre-esistente circuito di circolazione acqua-mare che preleva e restituisce nel Mar Tirreno.

La zona circostante la centrale, per un raggio di circa 10 km, è in massima parte pianeggiante. L'assetto geologico-strutturale generale dell'area è la risultante di movimenti tettonici attribuibili a diverse fasi evolutive; la falda superficiale ha deflusso naturale verso il mare.

La zona è di tipo misto, vi si svolgono sia attività agricole sia industriali ed artigianali. In particolare nelle immediate vicinanze della centrale Enel esistono un impianto di piscicoltura che utilizza le acque calde di raffreddamento della centrale e un impianto di floricoltura che utilizza il calore di reflui di vapore provenienti dal processo di produzione.

Le aree edificate, che coprono complessivamente circa il 10% della zona, sono costituite principalmente dai centri abitati, dalla zona industriale (lungo la SS n.1) e da infrastrutture quali autostrade e ferrovie (*Dichiarazione ambientale del 2010; Enel*).

- **La Mattonara**

Vedi Allegato

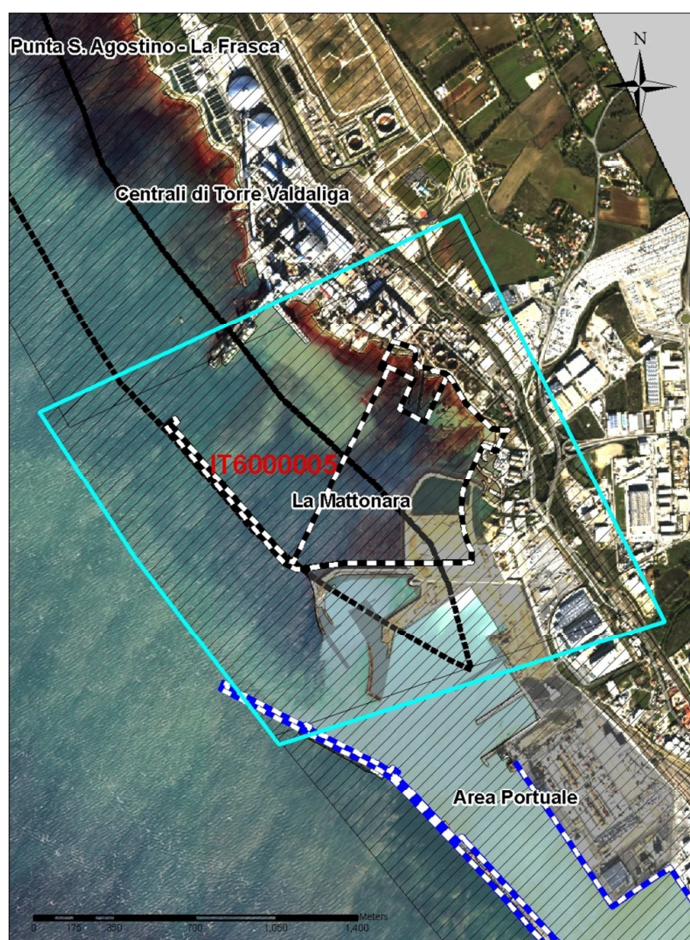


Fig. 15 – Ubicazione dell'area La Mattonara.

- **Area Portuale**

L'area tra La Mattonara ed il Borgo Odescalchi (Lat. 42°04'59"N; Long. 11°48'07"E) si estende per circa 5.5 km, è caratterizzata da una estesa superficie sub-pianeggiante ad alta pressione antropica, dovuta principalmente alla presenza della cittadina di Civitavecchia, all'*hub* portuale ed alla presenza di infrastrutture per il trasporto stradale e ferroviario.

La città di Civitavecchia ospita attualmente circa 53.000 abitanti (31-08-2014), si estende principalmente lungo costa, con una superficie di 72 km² ed una densità di 740 ab/km². Delimitata verso est-sud est dai Monti della Tolfa, di origine vulcanica, che sin dalle origini degli insediamenti

umani, hanno valorizzato questo territorio con l'abbondanza delle miniere. Attualmente si trovano nella Zona a Protezione Speciale

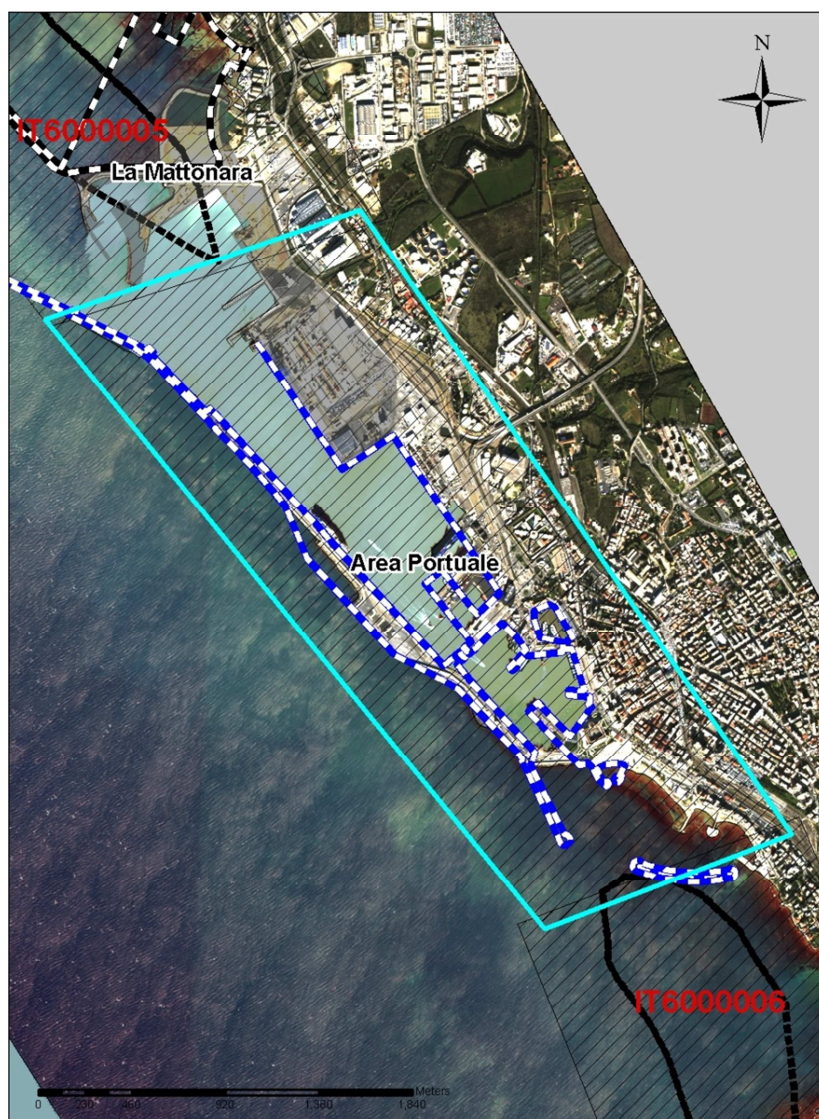


Fig. 16 – Ubicazione dell'Area Portuale di Civitavecchia.

(ZPS) del Comprensorio meridionale dei Monti della Tolfa (Sito IT6030005) che occupa un'area di circa 70.000 ha nei territori dei Comuni, oltreché di Civitavecchia, di Allumiere, Tolfa e Santa Marinella.

Il porto di Civitavecchia sin dall'antichità, è stato immaginato come porto di Roma, essendo un approdo facile e sicuro, è stato fondato dall'imperatore Traiano nel 106 d.C. e progettato dall'architetto Apollodoro di Damasco. Dal 1508 dopo che la città rientrò definitivamente sotto il controllo papale, fu costruito da prima il Forte Michelangelo (affidato da Giulio II, al Bramante e completato probabilmente da Michelangelo). Fu poi edificata la cinta muraria merlata voluta

da papa Urbano VIII e nel 1743 la famosa fontana del Vanvitelli. Qualche anno dopo fu realizzata porta Livorno. Ad oggi il porto di Civitavecchia si configura come un porto multifunzionale e, per la gestione, è stato diviso in due aree dalle dinamiche di mercato diverse: a sud quella dedicata al turismo, al diportismo; a nord l'area per le crociere i traffici commerciali, la pesca e il cabotaggio. L'hub portuale attualmente include il progetto della nuova Darsena Energetica Grandi Masse, che è stato sviluppato tenendo conto delle esigenze di un mercato portuale in forte sviluppo e ad affrontare il tema della competitività e della riduzione dei costi, che hanno coinvolto le grandi Compagnie di navigazione, con sempre maggiore urgenza.

Pertanto, la possibilità di ospitare portacontainer di ultima generazione richiede una profondità al piede banchina di almeno 16,5 metri, con un valore ritenuto ottimale che si attesta sui 18 metri. Così come, richiede l'ampliamento dell'area di manovra con cerchio di evoluzione di almeno 650 m al netto dell'occupazione degli accosti.

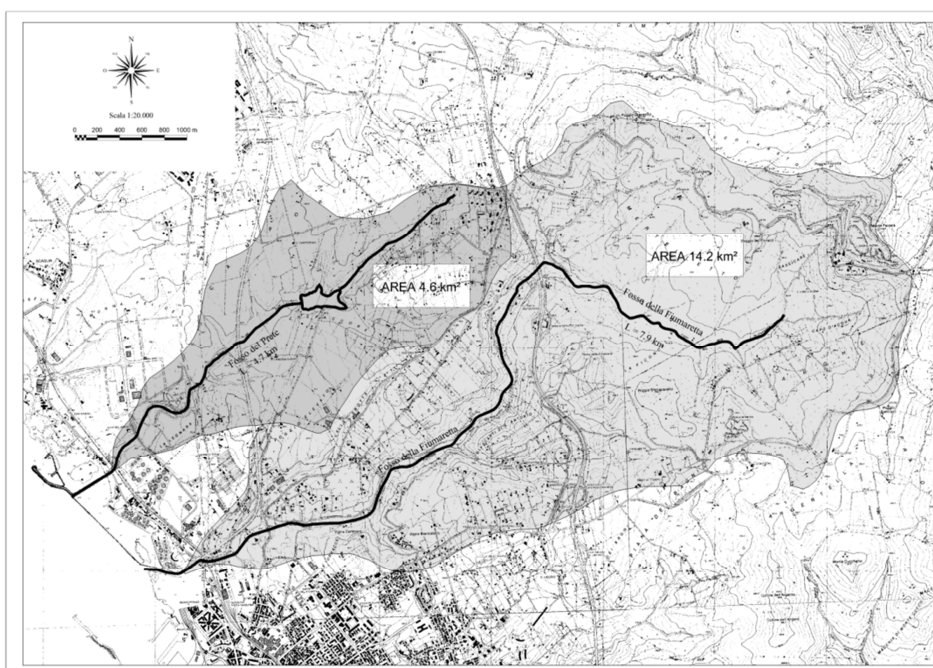


Fig. 17 - Bacino imbrifero del fosso della Fiumaretta (S: 14,2 km²) e del fosso del Prete (S: 4,6 km²).

Da

un punto di vista idrografico, quest'area è interessata a nord da due canali denominati Fosso di Monna Felicita e di Torre Orlando e più a sud denominati Fosso del Prete e Fosso della Fiumaretta.

Questi ultimi, hanno bacini imbriferi su terreni appartenenti al Complesso dei *Flysch* dei Monti della Tolfa e la presenza di livelli più o meno continui di sedimenti argillosi ha conferito una bassa permeabilità d'insieme. Considerate sia le caratteristiche morfologiche sia le condizioni climatiche della zona, si intuisce come i fossi abbiano un regime torrentizio molto marcato, caratterizzato da una grandissima escursione tra portate medie e portate di piena. Le piene possono avere decorso rapido, senza che siano precedute da significativi preavvisi, e verificarsi praticamente in qualsiasi periodo dell'anno, provocando franamenti localizzati. I versanti del bacino del fosso Fiumaretta

degradano rapidamente dalla quota massima di circa 440 m s.l.m. per il fosso della Fiumaretta e di circa 130 m s.l.m. per il fosso del Prete fino alla parte terminale che si raccorda con il mare secondo un tratto a debole pendenza. Lo stesso studio ha messo in evidenza come lavori di regimentazione del fiume, con arginature e briglie, abbia contribuito a limitare notevolmente il trasporto solido.

Il Fosso della Fiumaretta nel suo tratto terminale, è un canale tombato (circa 233 m) a partire dallo sbocco in mare quasi in corrispondenza dell'angolo delle banchine, a monte del tratto terminale, è presente una vasca di decantazione a cielo aperto che con cadenza circa biennale dovrebbe essere ripulita. La vasca presenta alcuni inconvenienti quali cattivi odori dovuti a fenomeni putrefattivi.

I Fossi Monna Felicità e Torre Orlando attualmente scaricano in mare nella zona a Nord del porto di Civitavecchia. Nel progetto della DEGM, i due fossi saranno convogliati tramite canali a cielo aperto all'interno del Porto.

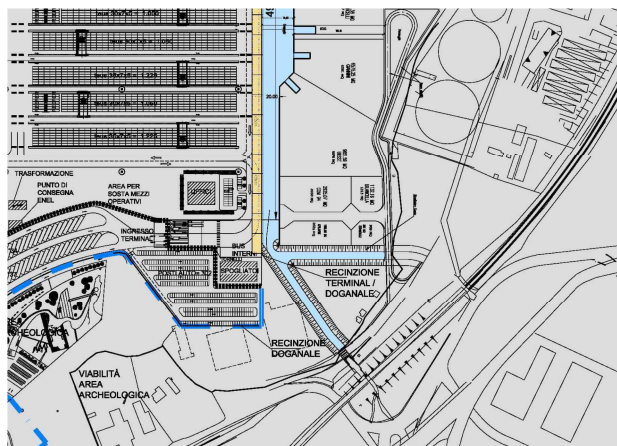


Figura 18 Sistemazione fossi Monna Felicità e Torre Orlando (dal progetto esecutivo della DEGM).

1.3.2. SIC IT6000006 tra i Fondali tra P.ta Pecoraro e Capo Linaro

Il SIC IT 6000006 “Fondali tra Punta del Pecoraro e Capo Linaro” (fig.23) è stato istituito in ragione della presenza di una prateria di *Posidonia oceanica* (cod. 1120* *Posidonium oceanicae*) e delle scogliere (cod. 1170), tra le altre specie importanti di flora e fauna, il formulario identificativo segnala la presenza del Bivalve *Pinna nobilis* e dell’Antozoo *Corallium rubrum*. Presenta una estensione longitudinale di ~10 km, una variazione batimetrica che varia da un minimo di 5-10 m ad un massimo di 25-30 m, con una superficie di ~746 ha. Le principali caratteristiche del sito di interesse comunitario sono schematizzate nella tabella sottostante (Tab. 1.3.2), il cui ultimo aggiornamento risale ad Ottobre 2013.

Habitat	• Praterie di Posidonia 1120* ¹ • Scogliere 1170 ²
Nome	Fondali tra Punta del Pecoraro e Capo Linaro
Superficie	746 ettari
Codice Natura	SIC IT6000006
Lunghezza sito	5 Km
Localizzazione centro sito (gradi decimali)	11.8194444444444 42.0352777777778
Regione Biogeografica	Mediterranea
Percentuale di copertura dell'habitat	100%
Rappresentatività	¹ A/ ² A
Superficie relativa	¹ C/ ² C
Grado di conservazione	¹ C/ ² B
Valutazione generale	¹ C/ ² B
Altre specie importanti del sito	1001 <i>Corallium Rubrum</i> ; 1028 <i>Pinna nobilis</i> ; <i>Posidonia oceanica</i>
Altre caratteristiche sito	Ambiente marino bentonico

Tabella 1.3.2 - Formulario standard 2000 del SIC IT6000006.

• Il Borgo Odescalchi - Riva di Traiano

Il tratto di costa tra il Borgo Odescalchi e Riva di Traiano (Lat. 42°03'24"N; Long. 11°49'06"E) si estende per circa 3.5 km. È caratterizzato da una piana costiera estremamente ridotta, se non completamente assente. Il substrato flyschoidale infatti raggiunge direttamente la linea di costa originando piccole falesie (1÷2 m) che a partire dalla località Borgo Odescalchi raggiungono, praticamente senza soluzione di continuità, il limite comunale meridionale, coincidente grossomodo con il Porto turistico Riva di Traiano.

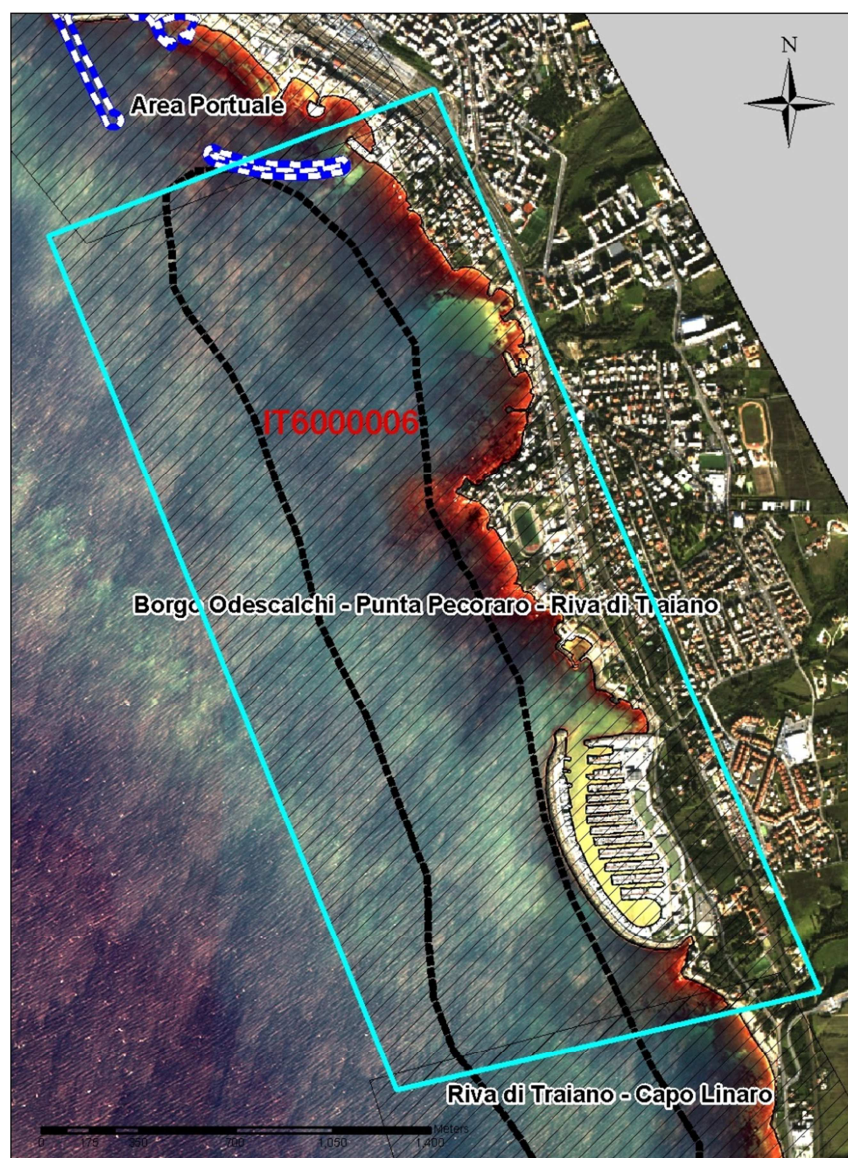


Fig. 19 – Ubicazione dell’area tra Borgo Odescalchi - Punta Pecoraro - Riva di Traiano.

- **Riva di Traiano - Capo Linaro**

Il litorale tra Riva di Traiano sud e Capo Linaro (Lat. 42°01’46”N; Long. 11°50’06”E) è esteso per circa 4 km (fig. 31), rientra nel limite comunale di S. Marinella, presenta un andamento d’insieme moderatamente ondulato, con coste basse e rocciose che costituiscono nella loro estensione meridionale un vero e proprio promontorio: Capo Linaro. La pressione antropica è piuttosto bassa (18.700 abitanti su una superficie di 49 km² con una densità di 382 ab/km²), nel tratto di costa a nord, mentre si accresce procedendo verso il promontorio, pur raggiungendo un picco massimo durante la stagione estiva.

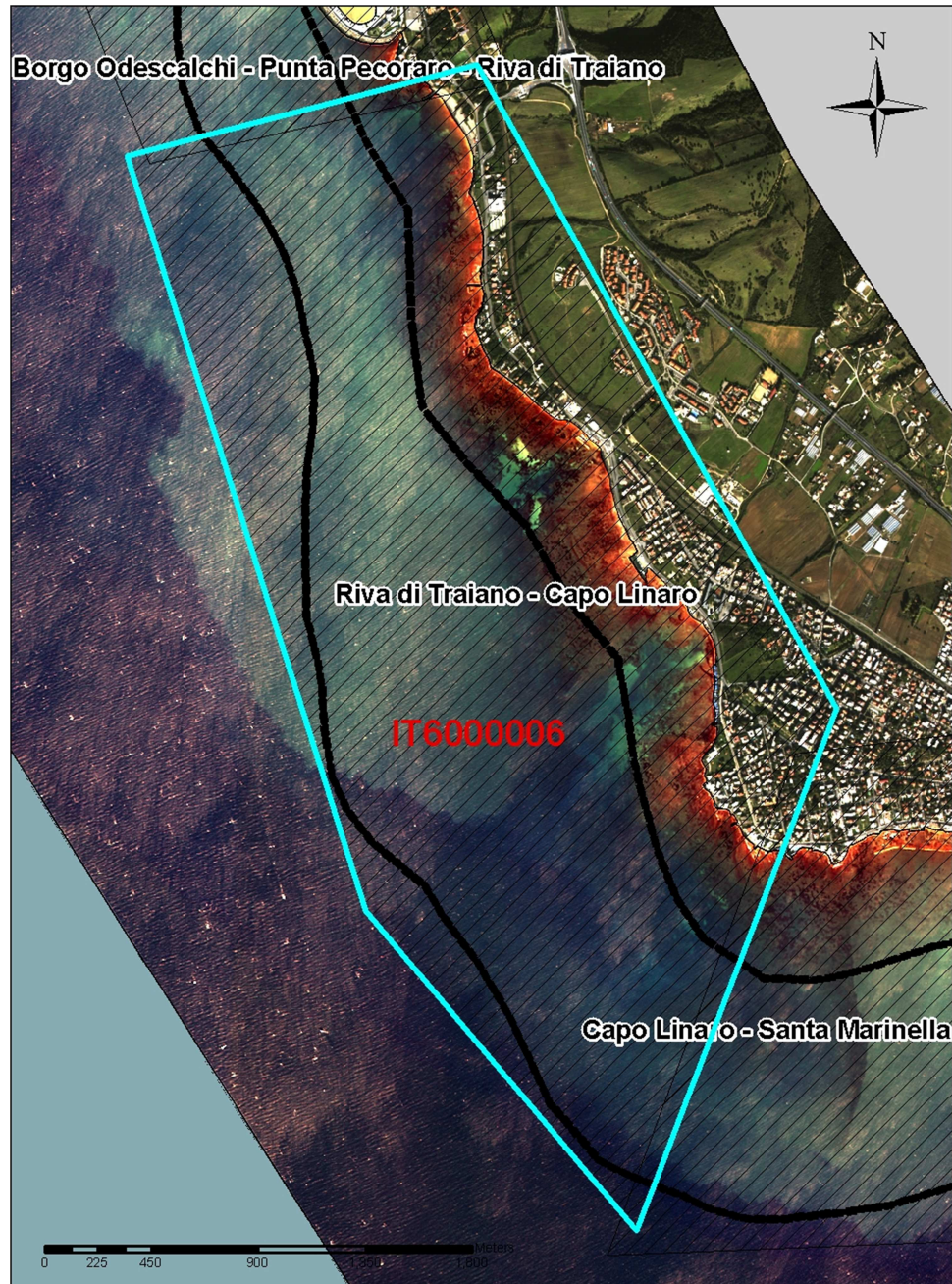


Fig. 20 – Ubicazione dell’area tra Riva di Traiano - Capo Linaro.

In

corrispondenza del promontorio di Capo Linaro, dalla costa sino a 1-2 miglia verso il largo, affiora un substrato litoide, probabilmente riferibile alla formazione della “Pietraforte”, il cui tetto ha andamento fortemente irregolare con numerose testimonianze del succedersi di più fasi erosive. A largo, al traverso del capo, la piattaforma raggiunge i valori minimi che dà luogo a fondali regolari, (Chiocci, La Monica, 1999).

In questo territorio, a circa 1-2 km dalla costa è presente una zona di interesse speciale con un’estensione di 67.573 ha (ZPS: Cod. IT 6030005), il Comprensorio Tolfetano-Cerite-Manziate, istituita come tale perché finalizzata alla conservazione e valorizzazione del patrimonio naturale. Tale comprensorio collinare subcostiero di estrema importanza naturalistica, ospita significative

presenze di tutti i gruppi zoologici. In particolare si sottolinea la presenza dei rapaci forestali diurni e di mammiferi carnivori. Sono presenti emergenze fitogeografiche.

- **Capo Linaro - S. Marinella**

Quest'area corrisponde al tratto di costa orientato NE-SO, lungo circa 3.4 km, tra il promontorio di Capo Linaro e S. Marinella (Lat. 42°02'00,00"N; Long. 11°52'15,13"E), con la linea ferroviaria Roma-Pisa che divide a metà una fascia urbanizzata, la cui ampiezza è di circa 500 m. Questo tratto di costa presenta condizioni morfologiche analoghe a quelle del litorale a Nord di Capo Linaro, con il quale affiorando le stesse unità, è in continuità litologica. Esso è infatti caratterizzato da una

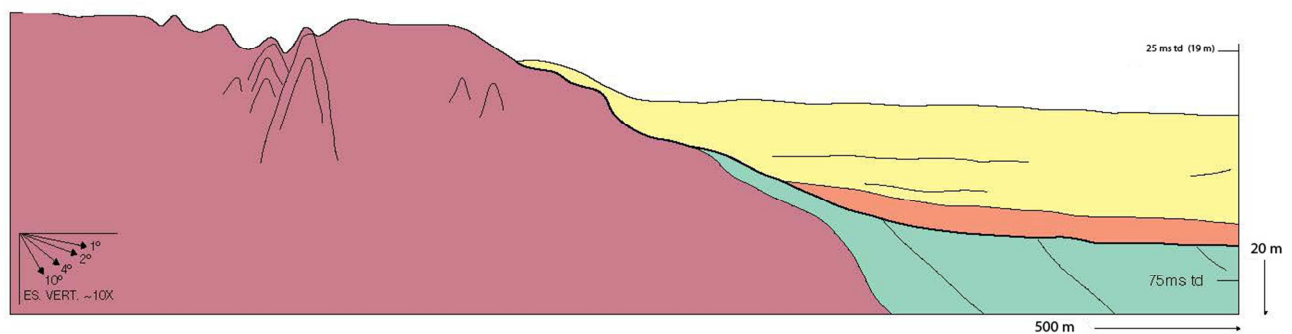


Figura 21 Interpretazione del profilo sismico perpendicolare alla costa al traverso di Civitavecchia. Le formazioni geologiche costituenti il promontorio di Capo Linaro proseguono a mare e sono sepolte dai sedimenti sia pre, sia post-glaciali (da F. L. Chiocci, G.B. La Monica, 1996 modificato).

costa frastagliata e rocciosa costituita da ripe, che si elevano al massimo per qualche metro sulla battigia, cui sovente si alternano piccole spiagge ciottolose, alimentate dai modesti corsi d'acqua che drenano i versanti meridionali dei Monti della Tolfa. La morfologia della spiaggia sommersa risente di quanto presente lungo la fascia costiera e così fondali rocciosi e articolati fronteggiano il litorale di S. Marinella.

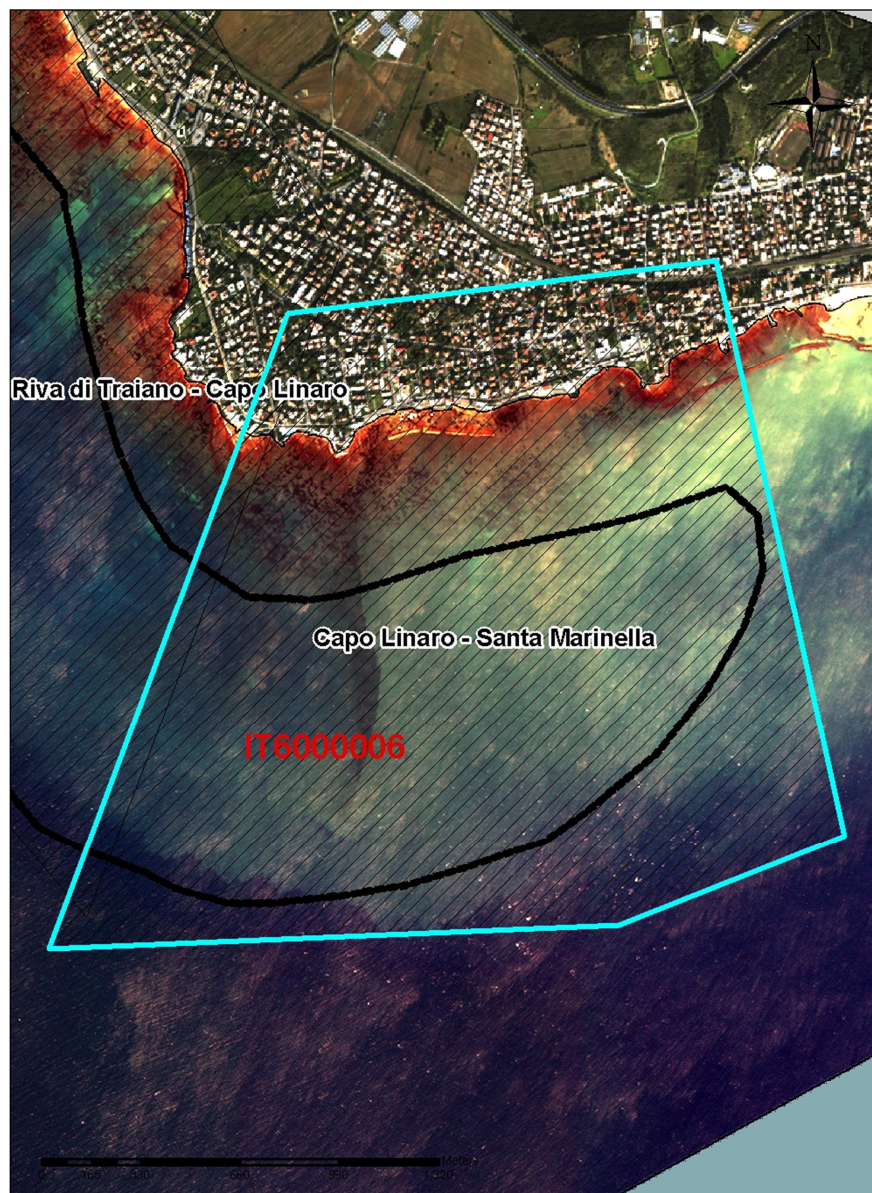


Fig. 22 – Ubicazione dell'area tra Capo Linaro e Santa Marinella.

1.4. Raccolta ed analisi dei dati

1.4.1. Dati bibliografici e cartografici pregressi

La lunga storia del porto di Civitavecchia così come, dati ed indagini vincolati non direttamente ad esso, ma a progetti di ricerca aventi altri scopi, come per esempio definire l'evoluzione dei fondali ed individuare depositi eventualmente sfruttabili per interventi di ripascimento artificiale, ha permesso di raccogliere una serie di informazioni che sono state raccolte nell'ambito delle seguenti attività:

- ricerche bibliografiche
- consultazione di progetti realizzati
- analisi dei risultati di rilievi ed indagini pregresse

L'insieme di tali informazioni hanno permesso di affrontare e programmare uno studio mirato alla conoscenza dell'area vasta di studio.

1.4.2. Indagini strumentali ed indagini in situ

1.4.2.1. *Materiali e metodi utilizzati*

Le indagini effettuate sono servite ad ottenere una verifica ed implementazione della mappatura disponibile, in particolare è stata presa a riferimento la mappatura degli habitat costieri del Lazio realizzata tra il 2009 ed il 2011 dall'ex Dipartimento Biologia Animale e dell'Uomo (ora Dipartimento di Biologia Ambientale) dell'Università di Roma, La Sapienza, grazie ad un finanziamento della Regione Lazio.

La realizzazione di una mappa biocenotica fornisce informazioni su distribuzione e complessità di habitat e specie presenti in una determinata area. E' essenziale per una prima valutazione delle condizioni ambientali e per la programmazione di eventuali interventi di tutela e di gestione delle risorse individuate. L'utilizzo di questo tipo di cartografia come indicatore biofisico permette di valutare se le fonti di disturbo che insistono sugli ambienti presenti possano determinare cambiamenti sulla loro conservazione e permette, inoltre, l'evidenziazione di importanti emergenze naturalistiche.

La metodica impiegata è stata quella messa a punto da oramai diversi anni per questo tipo di mappatura (Acunto, 1991; Acunto et al., 2000b; Ardizzone, 1992; Ardizzone e Belluscio, 1993, 1995, 1996a, 1996b; Ardizzone et al., 2003, 2006; Bianchi e Peirano, 1995; Bianchi et al. 2004; Buia et al. 2004; CIBM, 1992, 1995; Diviacco e Coppo, 2006; RTI, 2002, 2004).

Le metodiche di rilevamento finalizzato alla cartografia degli ambienti marini prevedono l'utilizzo integrato di diverse tecniche (Colantoni, 1995; Piazzì et al. 2000) che da sole non sarebbero

sufficienti a garantire una precisione adeguata alla scala e alla finalità del lavoro. I diversi metodi hanno, infatti, un diverso significato secondo l'ambiente da esplorare e della scala di restituzione finale. Se la fascia più costiera fino ad una decina di metri di profondità può essere ad esempio ben descritta utilizzando la tecnica aerofotogrammetrica o il telerilevamento da satellite, profondità maggiori devono essere esplorate con sonar a scansione laterale (o S.S.S.: Side Scan Sonar).

Inoltre, per aree in cui si richiede un maggior dettaglio ed un approfondimento sui dati rilevati, è necessario utilizzare metodi di rilevamento subacqueo diretto come telecamere subacquee, trainate o a controllo remoto (ROV, Remotely Operated Vehicle) e operatori scientifici subacquei.

I dati per la mappatura degli habitat vengono acquisiti con l'utilizzo di ecoscandagli e GPS cartografici. La prospezione del fondale viene condotta navigando lungo transetti costa-largo o paralleli alla costa, vengono eseguiti una serie di rilevamenti puntuali e **per ogni punto sono acquisite le seguenti informazioni: coordinate geografiche, profondità, tipo di substrato, tipo di biocenosi e/o habitat, presenza di specie target.**

Nel caso specifico, sono stati utilizzati sia metodi diretti, cioè prospezioni visive attraverso l'utilizzo di ROV ed immersioni subacquee da parte di Operatori Scientifici Subacquei, sia metodi indiretti quali il telerilevamento da satellite ed il Side Scan Sonar.

Telerilevamento da Satellite

Nella fase preliminare del progetto di espianto e reimpianto delle talee di Posidonia Oceanica, eseguito a partire dal 2012 su incarico della stessa A.P., si è scelto di effettuare uno studio accurato di tutta la zona che va da P.ta S. Agostino a Santa Severa utilizzando la tecnica basata sul Telerilevamento da Satellite, in modo di acquisire informazioni utili ai fini di una caratterizzazione preliminare del fondale marino.

Il Telerilevamento è una disciplina tecnico-scientifica che riunisce diversi metodi di osservazione della terra nei quali la radiazione elettromagnetica, che interagisce con le superfici fisiche di interesse, costituisce il veicolo di trasporto dell'informazione dall'oggetto di indagine ad uno strumento di rilevazione, il sensore. Tale sensore è montato su veicoli satellitari che si muovono lungo l'orbita terrestre, oppure, più semplicemente, su aeromobili.

Per studiare un determinato fenomeno utilizzando il telerilevamento si devono prevedere differenti fasi. Nella prima vengono acquisite informazioni provenienti da riprese terrestri, aeree o satellitari. Nella seconda vengono elaborati tali dati al fine di avere restituita un'immagine digitale; questa fase può essere svolta direttamente sul satellite oppure a terra in seguito all'invio dei dati. L'ultima, è quella di analisi ed utilizzo delle informazioni acquisite.

Il telerilevamento agisce in particolar modo sui parametri elettromagnetici di campo come la potenza elettromagnetica, l'ampiezza del campo, la fase e la polarizzazione. Tali informazioni

possono essere interconnesse, rilevando e riconoscendo la firma spettrale degli elementi o dei composti chimici, con i parametri ambientali. Attraverso l'elaborazione dei dati elettromagnetici, si ricavano, grazie alle immagini digitali, informazioni utili allo scopo prefissato.

Nel caso specifico è stata utilizzata la radiometria, ossia lo studio della misura della radiazione elettromagnetica, tramite l'elaborazione di immagini riprese da satellite.

Tale sistema ha molti vantaggi tra cui quello di poter ricoprire un'area di grandi dimensioni, di avere una buona risoluzione temporale, di poter far affidamento su un'elevata precisione nella restituzione planimetrica degli elementi geografici e di avere infine la possibilità di individuare con le immagini, elementi aggiuntivi.

Il telerilevamento permette di reiterare nel tempo le riprese di una medesima zona, consentendo lo studio della variazione del fondale marino differenziando, ad esempio, zone di accumulo nelle quali la profondità del fondale tende a diminuire, da quelle statiche, o in erosione, nelle quali la profondità tende ad aumentare, unitamente alla possibilità di verificare i cambiamenti nella distribuzione della vegetazione subacquea e costiera.

Gli studi batimetrici e di caratterizzazione del fondale marino ad approccio radiometrico sfruttano principalmente il differente assorbimento da parte dell'acqua all'aumentare della profondità, di alcune caratteristiche della luce a varie lunghezze d'onda, come ad esempio la riflettanza (il potere riflessivo di un corpo sottoposto ad irradiazione). Le profondità investigabili tramite questa tipologia di analisi, possono arrivare fino a 20 - 25 metri in condizioni ottimali (acque limpide e calme, ripresa satellitare prossima al nadir).

Sono quindi state acquisite due immagini satellitari a copertura della zona in studio, relative all'estate 2011, scelte tra varie immagini disponibili, cercando da un lato di soddisfare i criteri sopra descritti, dall'altro di avere immagini di acquisizione relativamente recente. In seguito, sono state commissionate due acquisizioni, una nell'agosto 2012 ed una in dicembre 2014. Si è optato di utilizzare immagini acquisite dal satellite WorldView-2, un satellite ottico commerciale ad altissima risoluzione gestito dalla società *DigitalGlobe*. La peculiarità di questo satellite, è la capacità del sensore di acquisire immagini multispettrali ad 8 bande con risoluzione di 1,8 metri, oltre che immagini pancromatiche con risoluzione di 46 centimetri (commercializzate rispettivamente con la risoluzione 2 metri nel multispettrale e di 50 cm nel pancromatico). In particolare WorldView-2 è il primo satellite commerciale ad alta risoluzione in grado di acquisire, accanto alle quattro tipiche bande Blu, Verde, Rosso ed Infrarosso Vicino, quattro ulteriori bande multispettrali:

- la *Coastal Band*, utile per lo studio di aree costiere grazie alle sue caratteristiche di penetrazione nell'acqua che la rendono ideale per migliorare i risultati nei processi di correzione atmosferica, corrisponde ad una lunghezza d'onda prossima all'ultravioletto (400 - 450 nm), consente di effettuare analisi sui primi strati superficiali dell'acqua, per distinguere la vegetazione sommersa ed effettuare analisi batimetriche in prossimità della costa.

- la *Yellow Band* (585 - 625 nm), importante per rendere meglio i colori naturali delle immagini ottimizzando i processi di classificazione;
- la *Red Edge Band* (705 - 745 nm), fondamentale per l'analisi approfondita delle condizioni di salute della vegetazione;
- la *Near Infrared 2 Band* (860 - 1040 nm) è una seconda banda nell'infrarosso vicino, meno influenzata dalle condizioni atmosferiche, utile a supporto dell'analisi della vegetazione e delle biomasse.

Per elaborare le immagini è stato utilizzato prevalentemente il *software Erdas Imagine*, una suite completa sviluppata in maniera specifica per l'elaborazione dei dati geospaziali. Questo software fornisce strumenti professionali per gestire questa tipologia di dati, analizzarli e trasformarli in informazione geospaziale accurata. Per la correzione atmosferica è stato utilizzato il modulo AtCor integrato in Erdas.

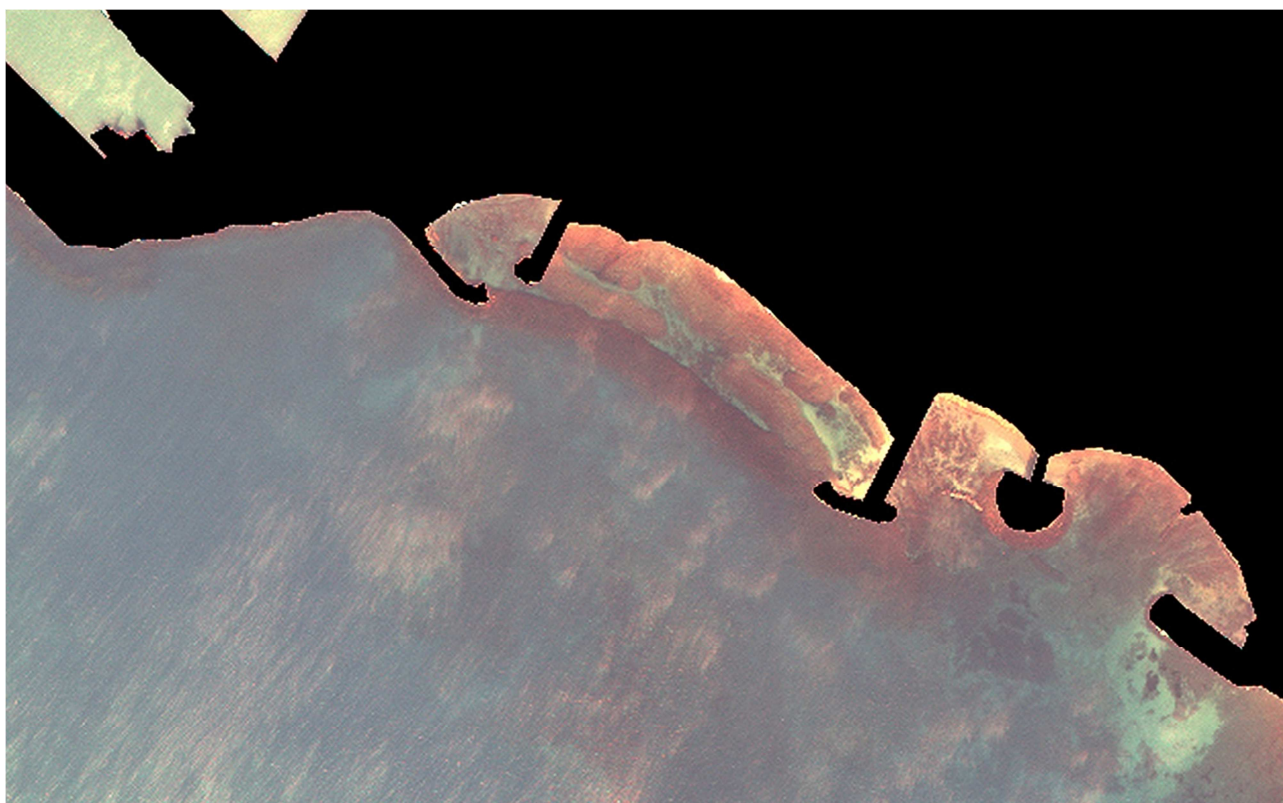
Le immagini acquisite, hanno quindi subito le elaborazioni di seguito descritte, mirate all'estrazione delle necessarie informazioni.

-Processo di ortorettifica. Le immagine originali del satellite (scene ad 8 bande e pancromatico) sono state sottoposte ad una serie di trasformazioni di tipo geometrico per la ridistribuzione dei relativi pixel in modo da disporre gli stessi conformemente al sistema di riferimento scelto (UTM WGS 84 Fuso 33 Nord). Per questo tipo di elaborazione, sono stati utilizzati i dati relativi alle caratteristiche del sensore e della ripresa satellitare che sono contenuti in file a corredo delle immagini stesse, un modello di elevazione del terreno (DEM) con risoluzione di 25 metri e dei punti di controllo ricavati da foto aeree. Entrambe le immagini sono state posizionate con buona precisione nel sistema di riferimento scelto, sia per la componente pancromatica, che per quella multispettrale.

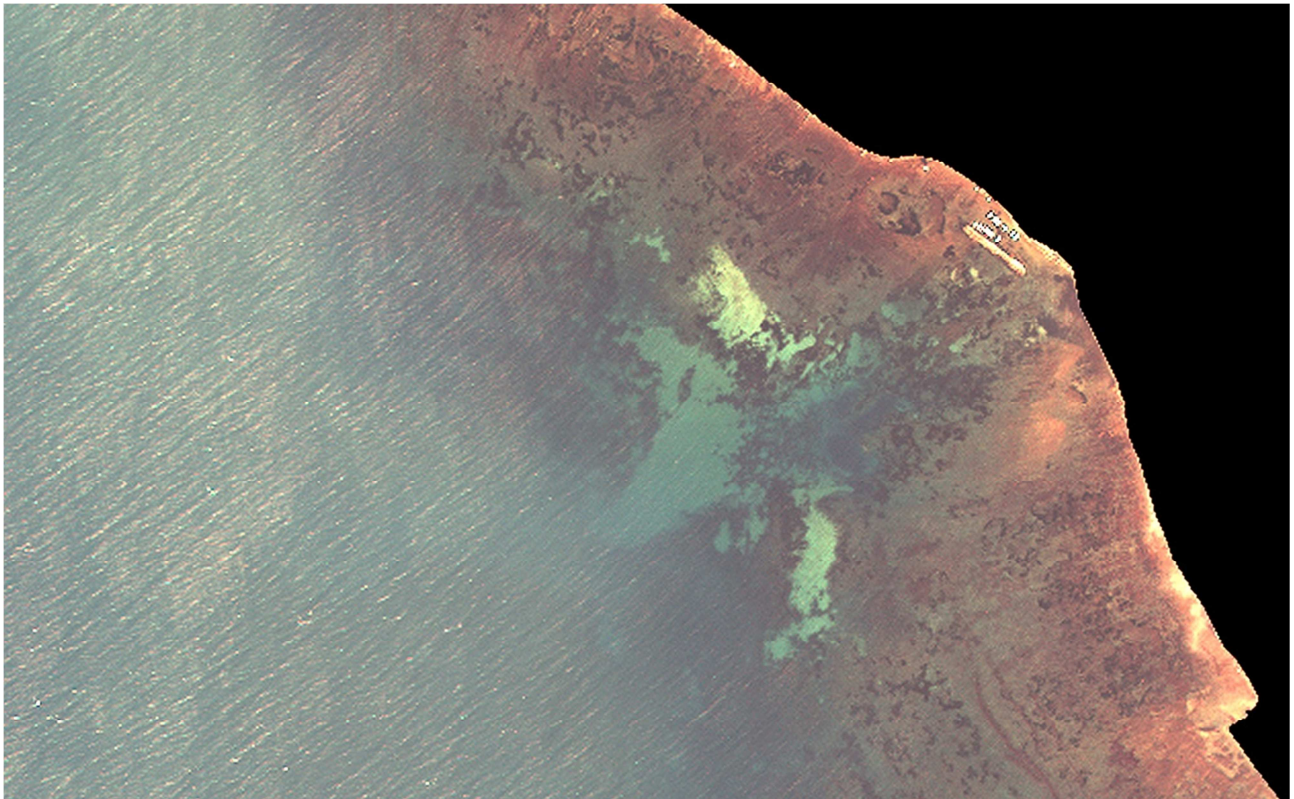
-Elaborazioni radiometriche. Le informazioni contenute nei *digital number* delle bande relative alle due scene, sono state elaborate in maniera da ottenere dati relativi alle caratteristiche del fondale marino. In particolare, si è preliminarmente provveduto a creare una maschera che azzerasse i valori dei pixel delle zone emerse, in maniera che qualsiasi tipo di analisi o visualizzazione del dato, potesse essere incentrato solo sulle zone di mare. Quindi, sfruttando le bande che maggiormente penetrano nell'acqua e agendo su equalizzazione e istogrammi di tali bande, sono state ottenute delle immagini che hanno permesso una prima fotointerpretazione a video. Le suddette operazioni hanno generato immagini delle quali, per l'acquisizione del 2010, la prima, che copre la zona fra il porto Riva di Traiano e Santa Severa, permette di distinguere elementi del fondale a notevole distanza dalla costa in maniera abbastanza uniforme per tutta la propria estensione, mentre la seconda, che copre la zona fra il porto Riva di Traiano e Sant'Agostino, offre una minor visibilità degli elementi del fondo (il moto ondoso e una certa torbidità dell'acqua hanno penalizzato la ripresa, riducendo la distinzione dei dettagli, specialmente a ridosso del porto di Civitavecchia). Le immagini del 2012 e 2014 offrono una visione abbastanza uniforme della zona,

ma le condizioni leggermente mosse del mare al momento dell'acquisizione, hanno limitato la capacità di penetrazione del satellite, riducendo la definizione dei dettagli.

Si è quindi provveduto ad effettuare per le immagini, la calibrazione in radianza (l'energia che investe la superficie di un metro quadro al secondo) e la calibrazione in riflettanza (la proporzione di luce incidente che una data superficie è in grado di riflettere). Per queste elaborazioni sono stati utilizzati alcuni dati presenti nei file a corredo delle immagini, quali i fattori di calibrazione e la larghezza effettiva della banda, nonché la distanza sole terra al momento della ripresa.



Uno dei principali problemi che riguarda l'interpretazione dei dati satellitari di zone marine, è che l'aumentare della profondità attenua l'intensità della luce. Questa caratteristica, che da un lato può offrire informazioni sul fondale, dall'altro rende difficile il riconoscimento delle firme spettrali degli oggetti (le caratteristiche di riflessione in base alla lunghezza d'onda proprie di un materiale). Oggetti simili a profondità differenti hanno firme spettrali diverse, viceversa materiali con firme spettrali differenti, posti a profondità diverse possono essere confusi. Si è quindi provveduto ad utilizzare il metodo di Lyzenga per la rimozione della colonna d'acqua. Il risultato teorico di questa operazione, è la produzione di un'immagine il cui *digital number* è indipendente dalla profondità ed è quindi proprio dell'elemento riflettente sul fondo. Questa elaborazione, affinata utilizzando le informazioni messe a disposizione dall'Autorità Portuale, quali le batimetrie e le mappature del fondale con la distribuzione della Posidonia Oceanica georiferite in UTM WGS 84 33N, ha consentito di far risaltare le caratteristiche del fondale marino e di individuare con una certa precisione le diverse componenti del fondale stesso.



Side Scan Sonar

Successivamente alle indagini mediante telerilevamento, sempre nel 2012, si è proceduto con il rilievo mediante sonar a scansione laterale (*Side Scan Sonar*), è un sensore ultrasonoro che fornisce immagini acustiche del fondo marino ad elevata risoluzione. Può essere utilizzato sia per rilievi in acque profonde che per prospezioni su bassi fondali, investigando rapidamente ampie porzioni del fondo del mare.

Il dispositivo sonar viene generalmente trainato dal natante a velocità costante (comprese tra 2 e 4 nodi) e ad un'altezza dal fondo marino variabile da pochi a centinaia di metri (fig. 3.5). Il principio di funzionamento del sonar a scansione laterale si basa sull'emissione di un ventaglio di onde acustiche (lobo di emissione) ad elevata frequenza, molto ampio nel piano trasversale alla rotta (diverse decine di gradi) e molto stretto nel piano ad esso parallelo (1-2°).

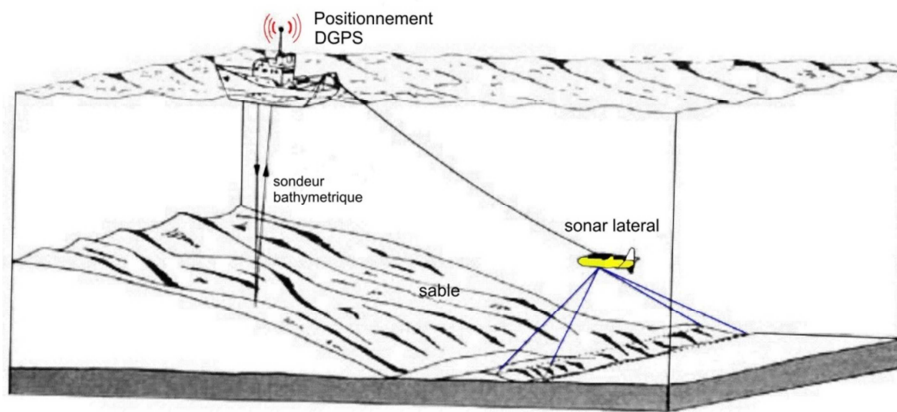


Fig. 23 - - Immagine di un sonar a scansione laterale a traino profondo (Ehrhold. 2003).

I fronti d'onda creati, interagendo con il fondo marino generano onde riflesse e diffratte che tornano indietro e vengono registrate dai trasduttori riceventi. In particolare il sonar a scansione laterale analizza la parte dell'energia dal fondale diffratta (energia di *backscatter*).

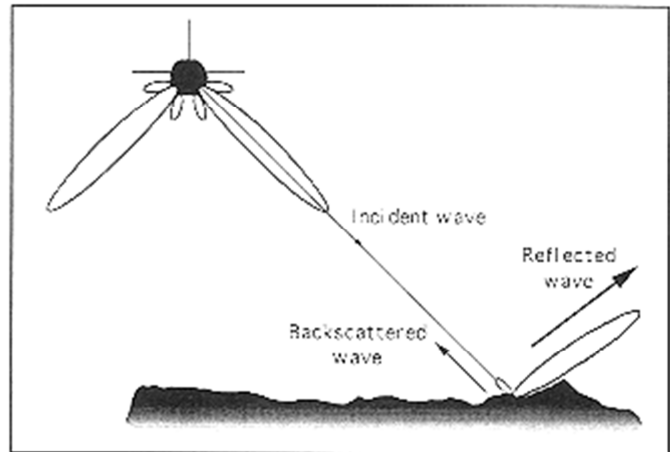


Fig. 24 - Lobi di emissione per il SSS TOBI su un piano verticale alla rotta. (Le Bas, 1995).

Gli impulsi acustici generati dai trasduttori sono caratterizzati da elevate frequenze al fine di avere un'alta risoluzione ed una penetrazione trascurabile o quasi nulla nel sottosuolo. Il segnale analizzato dai trasduttori viene così inviato al centro d'acquisizione presente sull'imbarcazione tramite un cavo coassiale, dove viene prodotta un'immagine SSS (side scan sonar) a scala di grigi, associando ad ogni tono di grigio un valore di intensità del *backscatter*. Queste immagini sono però affette da una costante distorsione geometrica lungo la traccia trasversale, definita di *Slant-range*, che si verifica poiché il sensore analizza il tempo di riverberazione percorso dall'onda tra il trasduttore ed il fondo marino, che dipende dalla velocità di propagazione dell'onda e dalla distanza percorsa. Si ha quindi che due oggetti definiti da una determinata distanza x (fig. 38), in prossimità della verticale saranno intercettati da due raggi (R_1 e R_2), caratterizzati da una lunghezza simile e conseguentemente la differenza nei tempi di andata e ritorno dei due raggi analizzati dal sensore sarà piccola. Gli stessi *target*, se localizzati a maggior distanza dalla verticale del sonar, saranno intercettati da due raggi, caratterizzati da lunghezze diverse e conseguentemente la differenza nei tempi di riverberazione sarà maggiore rispetto al caso precedente. Questo effetto acustico porta alla compressione delle aree vicino alla verticale del sonar (campo vicino) rispetto a quelle più distanti (campo lontano). La correzione di *Slant-range* consiste quindi in un riposizionamento (dilazione) dei pixel nel campo

vicino e viene calcolata sulla base della quota dello strumento, del tempo di andata e ritorno e della velocità di propagazione del suono in acqua.

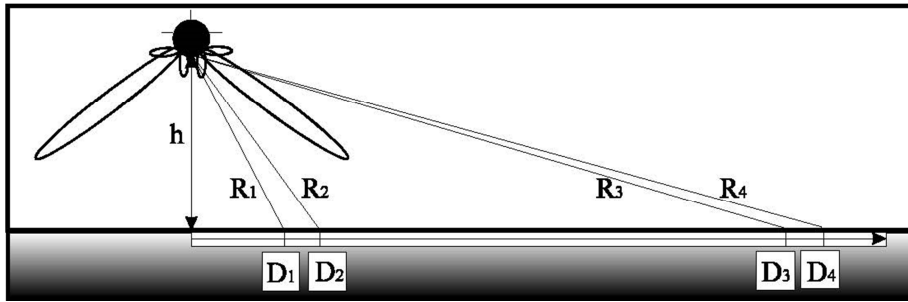


Fig. 25 - Correzione di slant-range, rappresentazione delle distanze lungo la traccia trasversale dove $D_1-D_2=D_3-D_4$.

L'interpretazione delle immagini sonar viene effettuata sulla base della distribuzione dei pixel a differenti toni di grigio, che sono in funzione dell'intensità di *backscatter*. In particolare l'intensità di *backscatter* dipende, a parità di frequenza, da due fattori (Blond & Murton, 1997): a) l'inclinazione delle superfici riflettenti; b) le caratteristiche del sedimento. In particolare l'*angolo d'incidenza* (misurato lungo la stessa traccia trasversale) tra i raggi costituenti il lobo di emissione e il fondo marino varia a seconda della morfologia del fondale. Quando un impulso sonar investe un oggetto sul fondo marino (scarpate, rilievi, rotture di pendio ecc.) la parte illuminata sarà contraddistinta da un alto valore di *backscatter*, mentre la zona retrostante si troverà in ombra e sarà caratterizzata da bassi valori di *backscatter*.

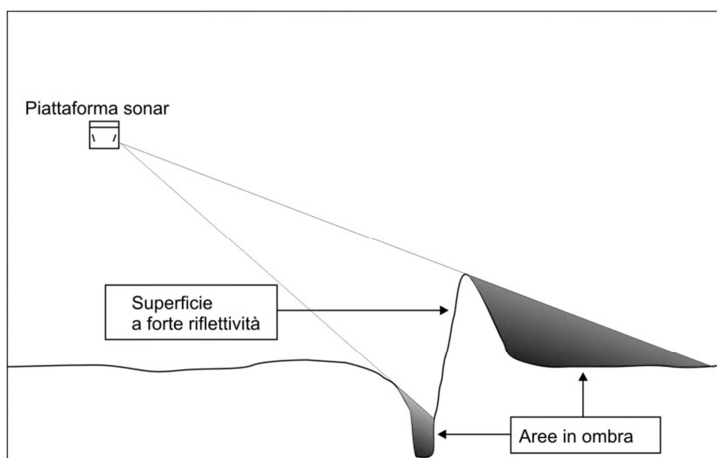


Fig. 26 - Schema del sistema di illuminazione del side scan sonar.

Le caratteristiche del fondale marino a livello di microscabrosità di superficie, dipendono, invece, dalla granulometria del sedimento presente. Infatti alcuni tipi di materiale come le ghiaie o le sabbie grossolane, mostrano alti valori di *backscatter*, al contrario sabbie fini, argille e limi presentano valori nettamente più bassi.

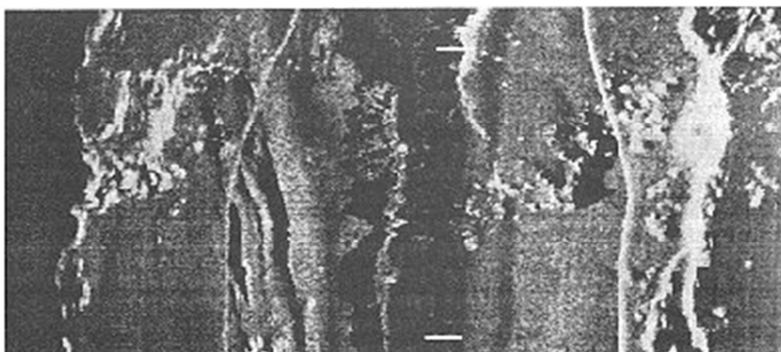


Fig. 27 - Esempio di profilo di backscatter trasversale alla rotta di navigazione.

La conoscenza delle geometrie del sistema permette di calcolare l'altezza dei rilievi sottomarini dalla superficie del fondo a partire dalle dimensioni delle ombre, dalla distanza trasversale rispetto alla piattaforma e dall'altezza della piattaforma del SSS rispetto al fondo: $h = r H / R$ (fig. 41).

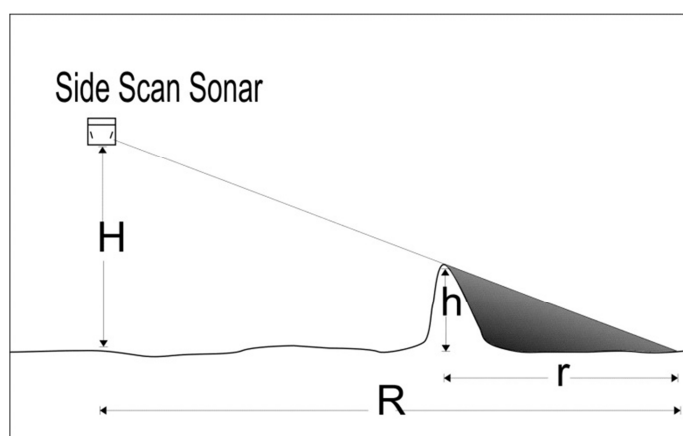


Fig. 28 - Calcolo dell'altezza di un rilievo del fondale (h: altezza del target dal fondo (incognita); H: altezza della piattaforma sonar rispetto al fondo; r: lunghezza dell'ombra prodotta dal rilievo; R: distanza tra la verticale del Sonar e l'ombra del rilievo).

Il sistema *Side Scan Sonar* utilizzato è L'EdgeTech 4100 che appartiene alla categoria dei sonar con trasduttori a doppia frequenza alloggiati in un "towfish" a rimorchio denominato 272TD, caratterizzato da una struttura leggera e agile ed una forma che riduce drasticamente i rischi di collisione o incaglio, consentendo quindi una buona continuità nell'acquisizione dei dati. Le frequenze utilizzate dal sonar sono 100/500 kHz, la larghezza del raggio orizzontale emesso è 1,2° a 500 kHz e 0,5° a 100 kHz e l'ampiezza della scansione è di 500 m a 100 kHz e di 200 m a 500kHz. Il posizionamento del sonar e quindi dei dati acquisiti, viene effettuato per mezzo di un sistema GPS differenziale. I risultati delle indagini *Side Scan Sonar* eseguiti nelle 4 zone individuate dal 3 al 5 Febbraio 2012, sono stati restituiti sia come dato grezzo in formato XTS, sia come dato georeferenziato nel sistema UTM WGS84 fuso 33N, in base all'elaborazione dei sonogrammi eseguita da personale esperto.

ROV

Il Remotely Operated Vehicle, R.O.V., è un dispositivo mobile comandato a distanza normalmente utilizzato per prospezioni video subacquee, dotato di telecamera, bussola, lampade per illuminazione e profondimetro. Il dispositivo viene pilotato da un operatore specializzato tramite un pannello di controllo collocato su una barca di appoggio.

Il compito fondamentale di un ROV è quello di consentire all'operatore che si trova in superficie di interagire con l'ambiente marino sottostante ed effettuare i rilievi prefissati.

Alcuni rilievi, eseguiti sulle aree individuate preliminarmente grazie alle indagini S.S.S., sono stati effettuati dall'8 febbraio 2012 al 12 Febbraio 2012. Lo strumento utilizzato è stato un Pollux III.

I rilievi più recenti sono stati eseguiti da novembre 2014 ad aprile 2015 lungo transetti progettati preliminarmente su carta (Allegato 1: "Carta di Lavoro"). Sono stati percorsi **n° 21** transetti posizionati perpendicolarmente alla linea di costa e **n° 7 paralleli alla linea di costa**. Lo sviluppo totale in lunghezza è stato di circa **30 km**. Lo strumento utilizzato era un ROV Mini RB 300. La telecamera principale del ROV è alloggiata all'interno del POD ed è montata su un supporto che permette un angolo di tilt di 270°.



Fig. 29 Modello ROV Mini RB 300.

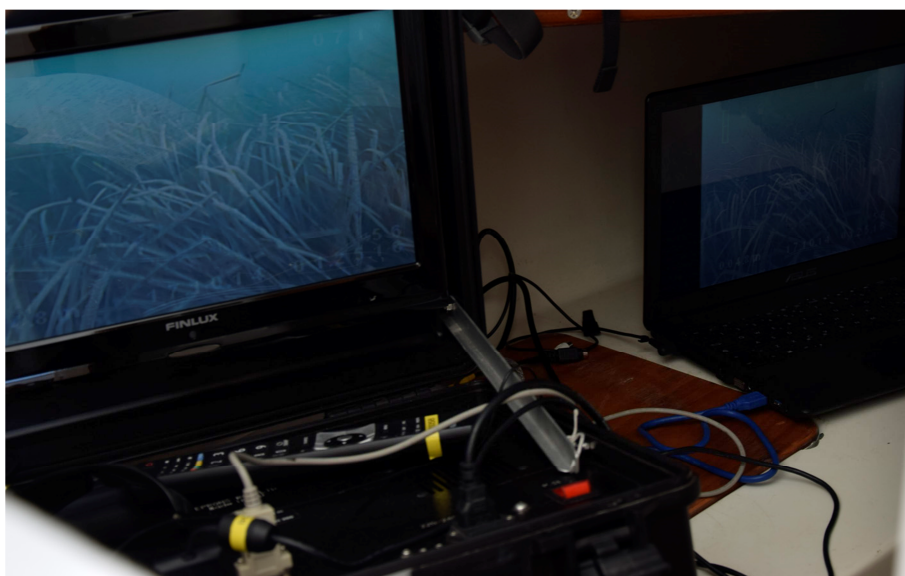


Fig. 30 – Acquisizione mediante R.O.V.

GIS

Tutti i dati rilevati sono stati archiviati in un apposito *DataBase*, fruibile tramite piattaforma GIS (Geographic Information Systems), al fine di analizzare, elaborare e rappresentare l'evoluzione del progetto in ambito geografico.

Il G.I.S. trova applicazione in tutti i campi legati all'informazione territoriale e si propone di diventare sempre più un sistema integrato. L'informatizzazione di dati alfanumerici, l'acquisizione di basi grafiche (immagini satellitari, *Side Scan Sonar*, carte di base e carte tematiche), permettono di creare un unico sistema globale consultabile ed aggiornabile in tempo reale.

E' stato possibile trasferire su GIS anche cartografie apparentemente non sovrapponibili. Sofisticata tecnica di georeferenziazione hanno infatti consentito la sovrapposizione di cartografie che utilizzano sistemi di riferimento non omogenei. Applicando le dovute trasformazioni i fogli georiferiti nel sistema di riferimento prescelto (WGS84 fuso 33) ed i dati acquisiti nel corso delle attività, sono stati sovrapposti in diversi *layers* al fine di tenere sempre aggiornato il sistema, potendo così apportare sui fogli stessi tutte le modifiche ed integrazioni che si sono rese necessarie.

Il sistema realizzato è stato utilizzato sia per procedere con la visualizzazione dello stato delle attività e sia per produrre cartografie di progetto.

Controllo verità a mare mediante Operatori Scientifici Subacquei

Successivamente all'analisi delle informazioni cartografiche e bionomiche ottenute da *Side Scan Sonar*, dal telerilevamento e dalle indagini R.O.V., sono state **individuare n° 44 stazioni** nelle quali eseguire ulteriori rilevamenti bionomici e campionamenti finalizzati a meglio descrivere i popolamenti presenti e completare il censimento della presenza di *Pinna nobilis* e *Corallium rubrum* nell'area dei 2 SIC oggetto di studio. A questo scopo, **n° 31 stazioni** (in Allegato 1: TRxePOSx) sono state posizionate entro la batimetrica -15 m e **n° 13 stazioni** (in Allegato 1: CORx) sono state posizionate oltre la batimetrica -15 m.

Presso **n° 18 stazioni** (in Allegato 1: TRx) è stata fatta una stima della copertura di *Posidonia* rispetto al substrato di impianto, eseguendo rilevamenti bionomici lungo transetti (4 transetti, della lunghezza di 30 m ciascuno, per ciascuna stazione).

In particolare è stata adottata la tecnica denominata Line Intercept Transect (LIT) (Bianchi *et al.*, 2004) che consiste nel registrare su di una lavagnetta l'intercetta al centimetro di ogni punto in cui cambia la categoria di organismo o di substrato presente sotto la cima, nella fattispecie ogni qualvolta si passa da substrato occupato da *Posidonia* ad altro tipo di substrato e viceversa.

Il ricoprimento percentuale di x (= *Posidonia*) viene calcolato mediante la formula:

$$Rx\% = Lx/T * 100$$

Dove T = lunghezza totale del transetto

Lungo gli stessi transetti è stato eseguito il censimento degli individui di *Pinna nobilis* che ha completato l'analisi delle immagini ROV. In questo caso la tecnica adottata sarà quella denominata del Belt Transect (BT) (Bianchi *et al.*, 2004) che consiste nel registrare tutti gli elementi target, nel caso specifico gli individui di *P. nobilis*, all'interno di una striscia di fondo di lunghezza e larghezza predeterminata.

Infine, sempre lungo gli stessi transetti, con la tecnica denominata Point Intercept Transect (Bianchi *et al.*, 2004) è stata fatta una valutazione del ricoprimento percentuale delle specie aliene di macroalghe presenti. In questo caso la tecnica consiste nel registrare su di una lavagnetta l'intercetta al centimetro di ogni punto in cui è presente sotto la cima una determinata specie target.

Il ricoprimento percentuale di x (= *specie aliena*) viene calcolato mediante la formula:

$$Rx\% = Px/Ptot * 100$$

Dove Px = il numero di punti con presenza della specie target

Ptot = numero di punti di rilevamento totali

Per la valutazione dello stato di qualità delle praterie di *Posidonia oceanica*, sono state esaminate **n° 13 stazioni** (in Allegato 1: POSx) scelte in modo casuale tra tutte le aree utili allo scopo a non più di 15 metri di profondità. È stato applicato il protocollo di campionamento raccomandato da ISPRA ed adottato nei piani di monitoraggio delle ARPA regionali. Secondo questo protocollo in ciascuna stazione sono state individuate 3 aree di campionamento (400 m² circa ciascuna, distanziate di almeno 10 m tra loro) in ciascuna delle quali sono state effettuate:

- 3 repliche per le misure di densità,
- 6 repliche per i prelievi di fasci ortotropi (Figura 1).

In totale, presso ciascuna stazione sono state effettuate 9 misure di densità e prelevati 18 fasci ortotropi per le analisi di laboratorio.

Per ciascuna delle 3 aree, oltre alle misure ed i prelievi di cui sopra, sono state effettuate delle stime relative a: ricoprimento della *P. oceanica*, tipo di substrato, continuità della prateria, percentuale di matte morta, di macroalghe aliene, di *Cymodocea nodosa* (Ucria) Ascherson. Tali stime sono state effettuate a scala di stazione, valutate da due operatori indipendenti ed espresse come percentuale. Le due valutazioni sono state poi mediate per determinare il valore dei ricoprimenti. Inoltre sono stati rilevati le eventuali presenze di *ripplemarks* e di marcatori di pressione antropica (reti abbandonate, segni di ancoraggio e di passaggio di reti a strascico, corpi morti, rifiuti).

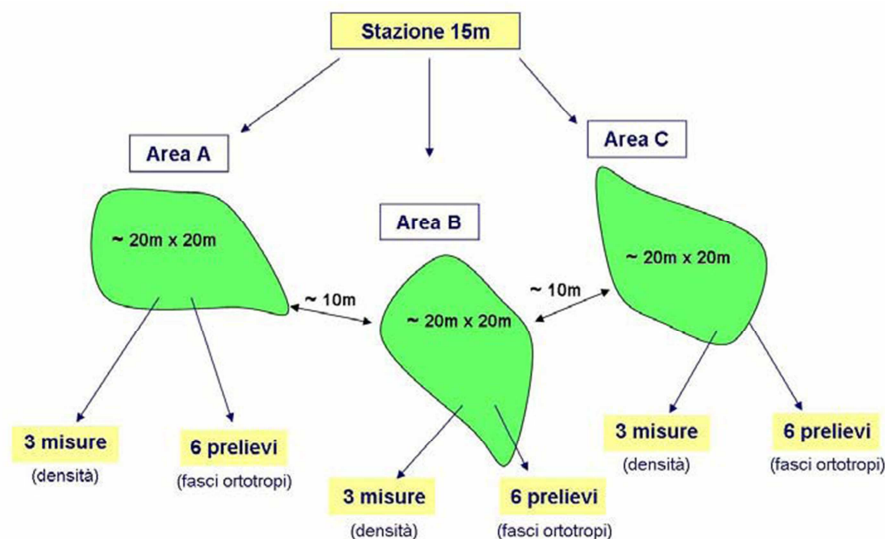


Figura 1 - Strategia di campionamento gerarchica, richiesta per il monitoraggio di *P. oceanica* (Fonte ISPRA).

La valutazione quali-quantitativa della prateria di *P. oceanica* è stata articolata nei seguenti punti:

- studio *in situ* (macroripartizione) dei fascicoli fogliari all'interno della prateria (densità);
- studio biometrico in laboratorio dei fascicoli fogliari (microripartizione).

La stima della densità è stata effettuata mediante conta dei fasci fogliari in quadrati di 40 cm di lato. I risultati sono stati estrapolati al metro quadro. La stima della densità ha consentito di classificare la prateria, in accordo con le metodologie di campionamento del benthos marino mediterraneo riportato sullo specifico Manuale edito dalla Società Italiana di Biologia Marina, APAT e ICRAM (Buia et al., 2004).

Inoltre, al fine di uniformarsi alle normative vigenti è stato applicato l'indice PREI (*Posidonia Rapid Easy Index*). **Il PREI è stato effettuato su 6 delle 13 stazioni sopra indicate (3 stazioni nel SIC IT6000005 e 3 stazioni nel SIC IT6000006).**

Il recepimento nazionale della Direttiva 2000/60/EC, attraverso il D. Lgs. 152/2006 e i suoi decreti attuativi, ha introdotto e definito un percorso per valutare lo stato di qualità ecologico e chimico delle acque superficiali, ovvero per conseguire lo stato ambientale "buono" entro il 2015.

Nel particolare, il Decreto 8 novembre 2010, n. 260 (MATTM, 2010) relativamente all'EQB (Elemento di Qualità Biologica) Angiosperme prende in considerazione la prateria a *Posidonia oceanica*. Tra i diversi indici di classificazione proposti dagli Stati membri appartenenti all'Eco-regione mediterranea, nell'ambito della fase II del Med-GIG, l'Italia ha adottato l'indice PREI.

Il PREI è un indice multimetrico basato su statistica univariata. Tiene conto di cinque differenti descrittori della prateria: densità (fasci m⁻²); superficie fogliare per fascio (cm² fascio⁻¹); rapporto tra biomassa degli epifiti (mg fascio⁻¹) e biomassa fogliare del fascio (mg fascio⁻¹); profondità del limite inferiore e tipologia del limite. La densità della prateria, la superficie fogliare per fascio e il rapporto tra la biomassa degli epifiti e la biomassa fogliare vengono valutati alla profondità standard di 15 m. Qualora la distribuzione della prateria non consenta il campionamento alla profondità standard, può essere individuata, motivandone la scelta, una profondità idonea al caso specifico.

Nel caso in oggetto i campionamenti sono stati effettuati tutti ad una profondità media di 5,5 m, la scelta è stata adottata in quanto la distribuzione della pianta nell'area indagata raramente è cospicua alla profondità suggerita dal metodo, mentre raggiunge valori massimi di copertura in un range batimetrico compreso tra -4 e -7 metri. Inoltre, nel caso di un monitoraggio protratto nel tempo campionando anche in futuro sempre alla medesima profondità i dati sarebbero comunque confrontabili.

L'indice PREI fornisce informazioni sullo "stato ecologico" del corpo idrico e l'appartenenza di esso a una delle 5 categorie ("stato elevato", "stato buono", "stato sufficiente", "stato scarso", "stato cattivo") in base alla deviazione dalle condizioni di riferimento (*Environmental Quality Ratio*, EQR).

La modalità di calcolo dell'indice PREI prevede l'applicazione della seguente equazione:

$$RQE = (RQE' + 0,11) / (1 + 0,10)$$

dove

$$RQE' = \frac{N_{\text{densità}} + N_{\text{superficie fogliare per fascio}} + N_{\text{biomassa epifiti/biomassa fogliare}} + N_{\text{limite inferiore}}}{3,5}$$

$N_{\text{densità}}$ = valore misurato - 0 / valore di riferimento - 0, in cui 0 viene considerato il valore di densità indicativo di pessime condizioni .

$N_{\text{superficie fogliare fascio}}$ = valore misurato - 0 / valore di riferimento - 0, in cui 0 viene considerato il valore di superficie fogliare fascio indicativo di pessime condizioni .

$N_{\text{biomassa epifiti/biomassa fogliare}}$ = $[1 - (\text{biomassa epifiti/biomassa fogliare})] * 0,5$.

$N_{\text{limite inferiore}}$ = $(N' - 12) / (\text{valore di riferimento profondità} - 12)$, in cui 12 m viene considerata la profondità minima del limite inferiore indicativa di pessime condizioni. N' = profondità limite inferiore misurata + λ , dove $\lambda = 0$ (limite inferiore stabile), $\lambda = 3$ (limite inferiore progressivo), $\lambda = -3$ (limite inferiore regressivo).

Il valore del PREI varia tra 0 ed 1 e corrisponde al Rapporto di Qualità Ecologica (RQE).

Il risultato finale dell'applicazione dell'Indice PREI non fornisce un valore assoluto, ma il rapporto di qualità ecologica (RQE).

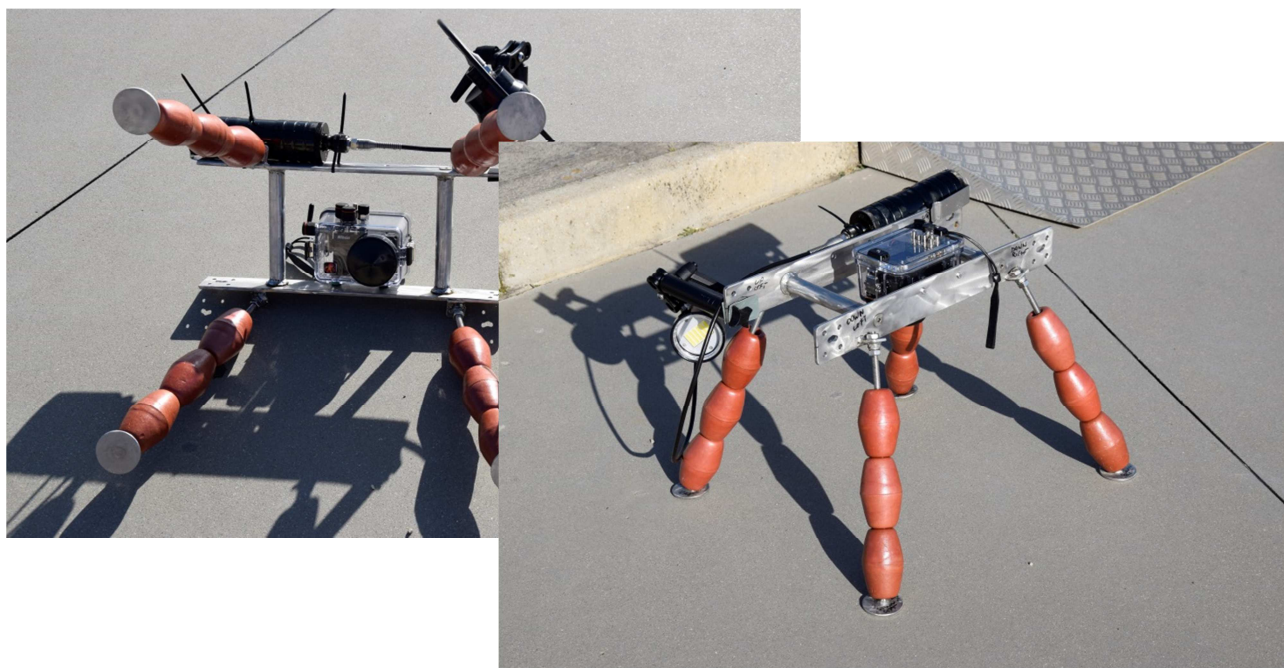
Sulle strutture fogliari prelevate come illustrato precedentemente saranno rilevate in laboratorio i seguenti dati:

1. Numero medio delle foglie totali ripartito tra foglie adulte (se provvista di base), foglie intermedie (se di lunghezza maggiore di 50 mm e sprovviste di base), foglie giovanili (se di lunghezza inferiore a 50 mm)
2. Lunghezza media delle foglie (totali, adulte, intermedie e giovanili);
3. Lunghezza della base (presenza di ligula) e del lembo;
4. Larghezza media delle foglie (totali, adulte, intermedie e giovanili);
5. Lunghezza del tessuto bruno;
6. Presenza degli apici erosi (coefficiente "A").
7. Superficie fogliare
8. L.A.I., Indice di Area Fogliare

Inoltre, per il calcolo dell'indice PREI, per i soli campioni dedicati a tale scopo sarà misurata la biomassa degli epifiti e la biomassa fogliare.

Per la valutazione dello stato di qualità del coralligeno individuato all'interno dei due SIC sono state esaminate **n° 13 stazioni** (in legenda carta di lavoro: CORx) scelte in modo casuale tra tutte le aree utili allo scopo e posizionate ad una profondità compresa tra i 15 metri ed i 40 metri. **Presso tali stazioni è stato eseguito un campionamento fotografico ed eseguito il censimento della presenza di popolamenti a *Corallium rubrum*.**

In particolare è stato applicato il protocollo ESCA (Ecological Status of Coralligenous Assemblages) (Cecchi et al 2014) che prevede presso ciascuna stazione di campionamento l'esecuzione di 15 fotografie (repliche distribuite in modo casuale) di una superficie di 1878 cm² da distanza fissa. Successivamente le immagini vengono processate in modo da ottenere il valore di copertura percentuale o di frequenza dei principali taxa che caratterizzano i popolamenti coralligeni; in particolare il calcolo ESCA si basa sul calcolo della presenza/assenza di alghe e gruppi di alghe, valuta la distribuzione delle alghe all'interno della singola replica e lo stato ecologico associato alle stesse.



Attrezzatura per la valutazione dell'indice ESCA

L'indice ESCA è stato elaborato a partire dai risultati di studi ecologici condotti lungo le coste continentali e insulari toscane a partire dal 2001 ed è stato concepito per definire la qualità ambientale in modo idoneo a rispondere alle richieste della European Water Framework Directive (2000/60/EC). L'indice, è impiegato da 6 anni dall'ARPA Toscana nell'ambito del monitoraggio costiero.

Il calcolo viene effettuato mediando i tre valori di EQB ottenuti attraverso:

1. Qualità dei taxa presenti: SENSITIVITY LEVEL
2. Diversità alpha: NUMERO DI TAXA O GRUPPI;
3. Diversità beta: ETEROGENEITÀ DEI POPOLAMENTI.

Il valore di "sensitivity level" è calcolato associando ad ogni gruppo o taxon di alghe un valore da -4 a +6 e valutando sia la presenza che l'abbondanza di ciascun taxon/gruppo. Il valore di sensitivity level di un'area è ottenuto come somma dei valori di sensitivity level assegnati a ciascun taxon/gruppo. Il valore di sensitivity level di ciascun taxon/gruppo è riferita alla copertura media del taxon/gruppo calcolata tra tutti i campioni di quell'area.

La diversità alpha è valutata come il numero medio di taxa/gruppi presenti in ciascun campione e mediata tra tutti i campioni dell'area in esame.

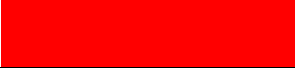
La diversità beta è valutata come eterogeneità dei popolamenti calcolata attraverso il calcolo della PERMDISP (permutational dispersion analysis) utilizzando il programma PRIMER 6+PERMANOVA (Anderson 2001).

L'analisi PERMDISP valuta la variabilità di composizione in specie tra unità di campionamento come dispersione multivariata calcolata come distanza media dei campioni dai centroidi (Anderson 2006). I cambiamenti nell'eterogeneità dei popolamenti messi in evidenza dall'analisi PERMDISP possono essere interpretati come cambiamenti di diversità beta (Anderson et al. 2006).

L'EQR' (Environmental Quality Ratio) per ciascun descrittore è calcolato come rapporto tra il valore di EQV (Environmental Quality Values) ottenuto in quell'area e il valore di EQV di riferimento. I valori di riferimento utilizzati si riferiscono alla media dei valori ottenuti in un periodo di tre anni in un'area considerata ad impatto pressoché nullo all'interno della stessa bioregione. L'impatto è stato valutato sulla base dei valori di altri indici ecologici utilizzati per il monitoraggio ambientale.

L'EQR di ciascuna area di interesse è calcolato come la media tra gli EQR' ottenuti per ciascun descrittore. Cinque classi ecologiche sono state definite 0-0.20 scarso, 0.21-0.40 povero, 0.41-0.50 sufficiente, 0.61-0.80 buono, 0.81-1.0 elevato.

Valori di ESCA e relative categorie ecologiche:

EQR	Qualità ecologica	Colore di riferimento
0.81-1	elevato	
0.61-0.8	buono	
0.41-0.6	sufficiente	
0.21-0.4	povero	
0-0.2	scarso	

Nel corso delle ricognizioni subacquee sono anche stati prelevati campioni dei popolamenti presenti su substrato duro mediante la tecnica del grattaggio su superfici standard di 400 cm² (Bianchi et al., 2004). Sono stati eseguiti **n° 12 grattaggi su coralligeno** ripartiti **in 4 delle 13 stazioni** previste. Nel dettaglio oltre ai campioni prelevati in una stazione prospiciente il porto (P.ta Mattonara, Allegato 4), i grattaggi (3 per stazione) sono stati effettuati in due stazioni prossime al porto (COR 1 e COR 2Sud) e in due stazioni a maggiore distanza (COR 7 e COR 5Sud).

I campioni così prelevati sono stati fissati in una miscela di acqua di mare e formaldeide al 3% (tamponata per evitare decalcificazioni indesiderate) e portati in laboratorio dove sono stati analizzati in modo da ottenere l'elenco ed i ricoprimenti percentuali di tutti i taxa presenti nei campioni. È stato inoltre calcolato l'indice di diversità di Shannon-Weaver per ciascun campione.

Infine, presso 2 località di cui una maggiormente soggetta all'impatto antropico e l'altra meno disturbata, sono state individuate 2 stazioni caratterizzate dalla presenza di *Posidonia oceanica*: una con maggiore densità di piante, l'altra con minore densità. In ciascuna stazione, sono stati prelevati 5 fasci fogliari per lo studio degli epifiti algali delle foglie e dei rizomi.

La finalità di tali campionamenti è quella di ottenere una migliore caratterizzazione dei popolamenti presenti nell'area indagata, una stima della biodiversità esistente e l'eventuale identificazione di specie di macroalghe aliene.

L'analisi dei grattaggi e delle macroalghe epifite di *Posidonia oceanica* è stata condotta in collaborazione con il laboratorio di algologia dell'Istituto per l'Ambiente Marino Costiero sede di Taranto.

Popolamenti a *Corallium rubrum*

I popolamenti a *Corallium rubrum* sono stati studiati nelle due località di Murata Sant'Agostino (stazione COR7) e Scoglio del Corallo (stazione COR2 Sud) con le stesse metodiche fotografiche descritte precedentemente. È stata valutata la copertura percentuale del popolamento e le dimensioni delle colonie.

1.4.3. Risultati

- **Caratterizzazione bionomica del SIC IT6000005 e SIC IT6000006 ed elaborazione di una cartografia degli habitat presenti**

A seguito delle indagini condotte è stato possibile realizzare una cartografia degli Habitat presenti nei SIC indagati (Allegato 2: “Mappa degli Habitat del SIC IT6000005: “Fondali tra P.ta S. Agostino e P.ta della Mattonara”; Allegato 3: Mappa degli Habitat del SIC IT6000006: “fondali tra P.ta Pecoraro e Capo Linaro”).

Sulla mappa sono stati evidenziati otto principali tipologie di habitat:

1. Roccia infralitorale
2. Roccia infralitorale con alghe fotofile, con presenza di *Posidonia oceanica*
3. Roccia con mosaico di associazioni fotofile e sciafile
4. Massi e ciottoli
5. Fondo mobile e/o matte morta, con sporadica presenza di *Posidonia oceanica*
6. *Posidonia oceanica* su sabbia e/o matte (copertura $30\% < Po < 80\%$)
7. Coralligeno
8. Fondo mobile (ghiaia; sabbia; fango)

La porzione di fondo occupata da roccia infralitorale si estende dalla linea di costa a pochi metri sotto la superficie del mare, fino ad una profondità che raramente si spinge oltre i -18/20 metri. Si tratta di una piattaforma rocciosa che nella tipologia di habitat n. 2 è caratterizzata da un mosaico di alghe fotofile (Tab. 1.4.3.1) e macchie di *Posidonia oceanica* insediata su roccia (Foto 1.4.3.1 e 1.4.3.2).

Con l’aumentare della profondità in genere sotto la batimetrica dei 5-6 m il fondo roccioso si fa sempre più ricco di avvallamenti e buche nelle quali l’accumulo di sedimento, prevalentemente costituito da sabbia grossolana di natura organogena, favorisce talvolta la presenza di piccole macchie di *Posidonia* che non sono però in grado di costituire una vera e propria prateria a causa dell’estrema eterogeneità del substrato (Foto 1.4.3.3).

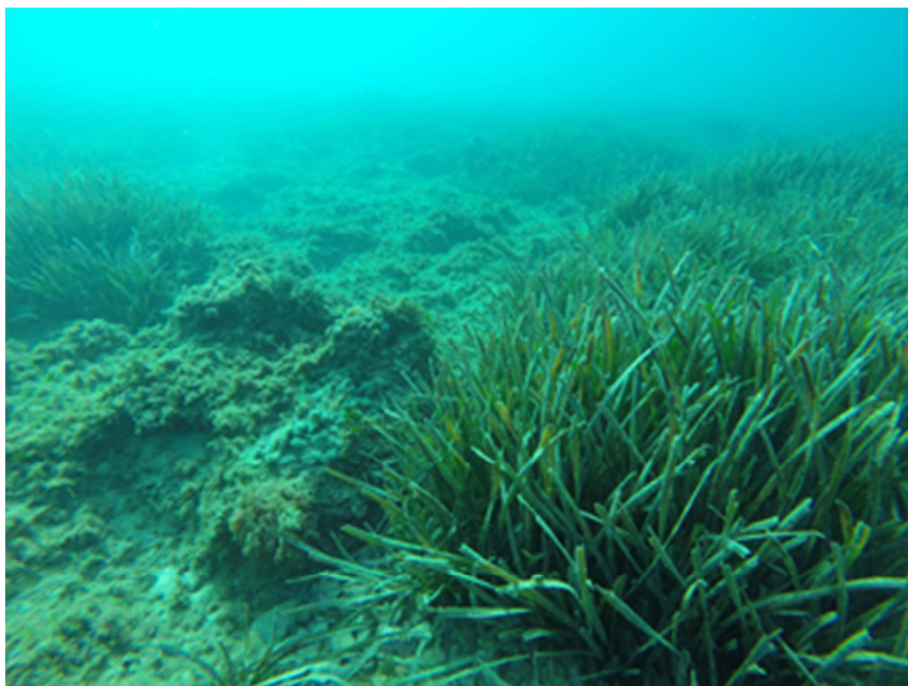


Foto 1.4.3.1. Esempio di mosaico di alghe fotofile e macchie di *P. oceanica* insediata su roccia.



Foto 1.4.3.2. Esempio di mosaico di alghe fotofile e macchie di *P. oceanica* insediata su roccia. Visuale dall'alto.

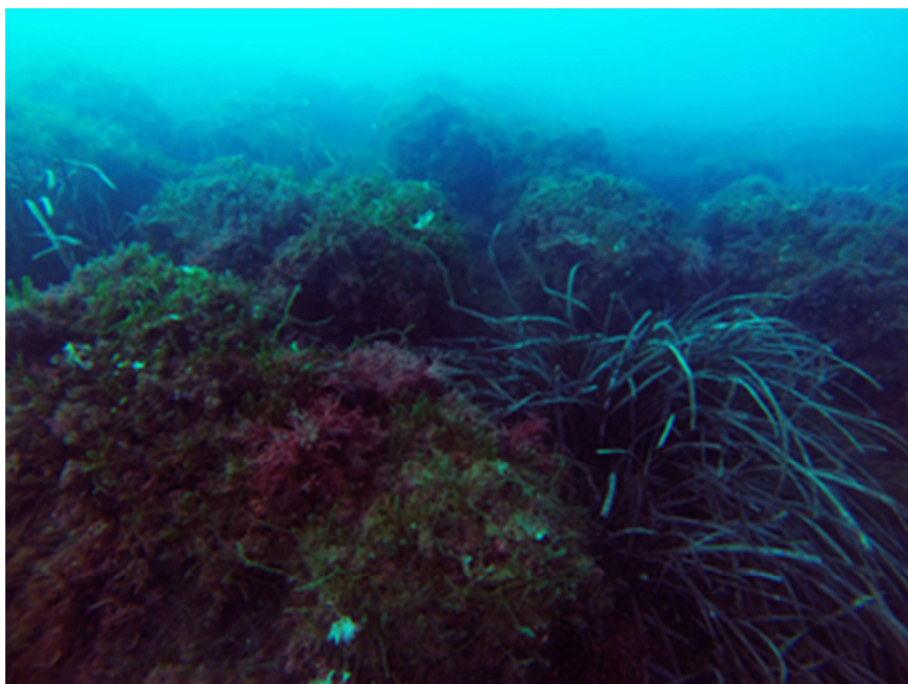


Foto 1.4.3.3. Esempio di fondo roccioso ricco di avvallamenti e buche nelle quali l'accumulo di sedimento, favorisce la presenza di piccole macchie di *P. oceanica* che non costituisce una vera prateria.

Tra i 10 ed i 15 metri di profondità si osserva, soprattutto nella porzione centrale della mappa, la presenza della tipologia di habitat n. 3 (Foto 1.4.3.4): si assiste ad un progressivo aumento della presenza di associazioni di tipo sciafilo che dapprima si affiancano alla componente fotofila per poi assumere, in genere oltre i 15 m di profondità, la fisionomia tipica dei popolamenti coralligeni (tipologia di habitat n. 7).

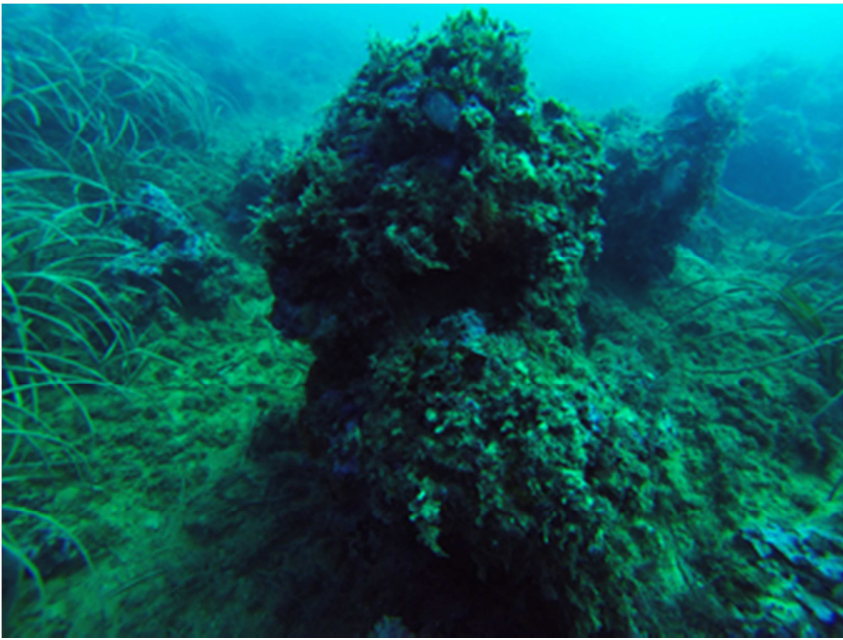


Foto 1.4.3.4. Esempio di roccia con mosaico di associazioni fotofile e sciafile

Il coralligeno (Foto 1.4.3.5.) è presente prevalentemente come affioramenti, alti al massimo un paio di metri, che si elevano dal fondo mobile alle profondità maggiori. Questa tipologia di habitat è presente anche se con distribuzione non omogenea un po' ovunque all'interno del SIC. Raramente si configura come coralligeno di parete.

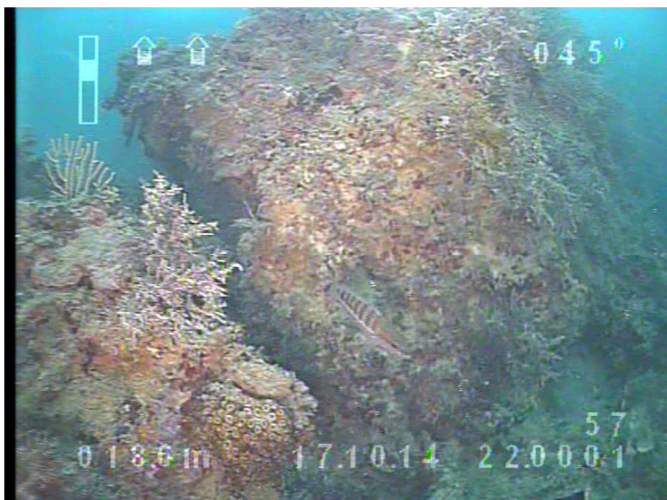


Foto 1.4.3.5. Esempio di coralligeno

Tabella 1.4.3.1. Lista dei taxa algali più abbondanti osservati su roccia infralitorale.

TAXA ALGALI
Chlorophyta <i>Caulerpa cylindracea</i> Sonder <i>Cladophora prolifera</i> (Roth) Kützting <i>Codium bursa</i> (Olivi) C. Agardh <i>Codium coralloides</i> (Kützting) P.C. Silva <i>Codium vermilara</i> (Olivi) Delle Chiaje <i>Flabellia petiolata</i> (Turra) Nizamuddin
Heterokontophyta <i>Cladostephus pongsus</i> (Hudson) C. Agardh <i>Padina pavonica</i> (Linnaeus) Thivy <i>Stypocaulon scoparium</i> (Linnaeus) Kützting
Rhodophyta <i>Asparagopsis taxiformis</i> (Delile) Trevisan de Saint-Léon <i>Corallina elongata</i> J. Ellis&Solander <i>Corallinales spp.</i> <i>Peyssonnelia spp.</i> <i>Sphaerococcus coronopifolius</i> Stackhouse <i>Tricleocarpa fragilis</i> (Linnaeus) Huisman &R.A.Townsend

Nelle tipologie di habitat n. 5 e n. 6 vengono ricondotte le porzioni di fondo mobile occupato da *Posidonia oceanica*, la tipologia 5 rispecchia condizioni delle praterie in evidente stato di sofferenza con una presenza solo sporadica della pianta, l'habitat n. 6 è invece riconducibile ad

una vera e propria prateria di *Posidonia*, ma è da considerare poco frequente nell'area mappata. Estensioni di un certo rilievo sono state osservate esclusivamente nelle porzioni estreme del SIC ITA6000005 e cioè al largo di P.ta S. Agostino a Nord e presso P.ta Mattonara a Sud. Quest'ultima porzione di SIC è stata studiata in maniera dettagliata ed è l'oggetto di una relazione specifica allegata (Allegato 4).

Presso il SIC ITA6000006 l'habitat n. 6 presenta una maggiore frequenza, aree di un certo rilievo si osservano soprattutto nel settore centrale del SIC tra il porto turistico di Riva di Traiano e Capo Linaro e, doppiato Capo Linaro, al limite dell'estensione del SIC al largo dell'abitato di S. Marinella.

Va tuttavia tenuta in debita considerazione anche la presenza di *Posidonia* (habitat n. 6) in un area poco distante dal porto di Civitavecchia nella porzione settentrionale del SIC.

Presenza di specie alloctone a carattere invasivo

Nel Mar Mediterraneo, negli ultimi anni, si sono insediate molte specie animali e vegetali di origine tropicale ed atlantica; questo fenomeno rientra a pieno titolo nelle forme di inquinamento biologico.

L'insediamento e la riproduzione in Mediterraneo di queste specie alloctone perlopiù ad affinità tropicale sono anche una conseguenza dei fenomeni di riscaldamento del pianeta (*global warming*), in questi casi si parla di "tropicalizzazione" del Mar Mediterraneo. Questo fenomeno va distinto da quello così detto di "meridionalizzazione" che implica invece lo spostamento di specie comunque autoctone oppure stabilitesi precocemente sulle coste nordafricane del Mediterraneo e che da queste o dal bacino orientale si muovono sempre più a Nord.

Sono oltre 300 le specie marine alloctone nel Mediterraneo. Alcune provengono dall'area indopacifica e sono penetrate nelle acque mediterranee attraverso il canale di Suez, queste specie vengono talvolta definite "lessepsiane". Altre specie alloctone sono invece di origine atlantica, e sono giunte nei nostri mari attraversando lo Stretto di Gibilterra.

Nei mari italiani si contano più di 30 specie vegetali e 70 specie animali di nuova introduzione. Alcune alghe indopacifiche del genere *Caulerpa* si sono rapidamente propagate nel Mediterraneo con modalità invasiva. La fitta copertura generata da *Caulerpa cylindracea* e da *Caulerpa taxifolia* danneggia i popolamenti algali autoctoni sottraendo luce e spazio e producendo sostanze tossiche (terpeni) che potrebbero avere effetti ancora non chiariti anche sulla salute dell'uomo.

Presso l'area indagata sono state osservate sia durante le prospezioni ROV che mediante le osservazioni effettuate in immersione dagli operatori scientifici subacqueile 2 specie algali alloctone *Asparagopsis taxiformis* (Delile) Trevisan de Saint-Léon e *Caulerpa cylindracea* Sonder (Tab. 1.4.3.1) (Foto 1.4.3.6 e 1.4.3.7).



Foto 1.4.3.6. *Asparagopsis taxiformis*



Foto 1.4.3.7. *Caulerpa cylindracea*

Asparagopsis taxiformis è una specie ad affinità tropicale o di acque temperate calde che mostra un comportamento fortemente invasivo tanto da essere inclusa nella lista delle “peggiori specie aliene invasive che minacciano la biodiversità in Europa (EEA, 2007) ed anche nella lista delle 100 “peggiori invasive nel Mediterraneo” (Streftaris & Zenetos, 2006).

Caulerpa cylindracea è caratterizzata dalla parte eretta costituita da piccole vescicole tondeggianti che si dipartono da un asse longitudinale centrale. Può accrescersi indifferentemente sia su roccia che sui fondi sabbiosi fino ad oltre 70 metri di profondità. Una volta colonizzato il fondo, l'alga può arrivare a ricoprire tutto costituendo con gli stoloni un reticolo verde impenetrabile che può portare alla morte gli organismi sottostanti. La stagionalità dell'alga, che si accresce in particolar modo nei mesi caldi, permette ai popolamenti mediterranei pre-esistenti di non scomparire completamente grazie alla possibilità di continuare a svilupparsi quando *C. cylindracea* ha uno sviluppo vegetativo più rallentato.

Sebbene manchi una mappatura completa della distribuzione dell'alga, appare chiaro che *C. cylindracea* sia ormai diventata comune in tutto il Mediterraneo. La vastità delle aree ricoperte e la diversità degli habitat occupati fanno ritenere che le conseguenze negative della sua invasione non si siano ancora del tutto manifestate. Per questo motivo si rende necessario un continuo monitoraggio del fenomeno, al fine di mitigarne gli effetti negativi e valutare eventuali segnali di un nuovo equilibrio con le specie native del Mediterraneo.

Nel corso delle indagini effettuate è sembrato interessante valutare la distribuzione di entrambe le specie e dare anche delle stime sulle percentuali di ricoprimento.

Riguardo la loro distribuzione nei due SIC studiati è stato notato che dal punto di vista batimetrico le due specie hanno comportamenti diversi, infatti, se *Asparagopsis taxiformis* raramente la si incontra a profondità maggiori di 10-12 metri, *Caulerpa cylindracea* è più uniformemente distribuita ricoprendo spesso le sommità degli affioramenti coralligeni pur non essendo mai stata osservata sui fondi mobili più profondi.

Lungo il gradiente geografico è stato rilevato che mentre *Asparagopsis taxiformis* è risultata sempre piuttosto abbondante nel *range* batimetrico precedentemente descritto, *Caulerpa cylindracea* presso il SIC IT6000005 scompare nel tratto di mare prospiciente P.ta S. Agostino e, inoltre, presso il SIC IT6000006 non è mai stata individuata né attraverso le prospezioni ROV né in immersione da parte degli operatori scientifici subacquei.

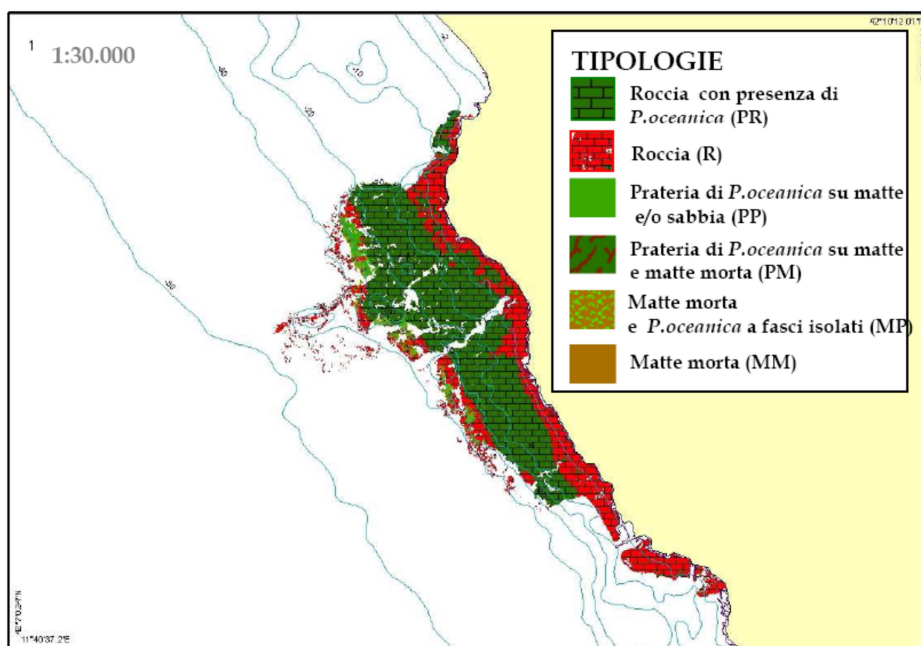
Tuttavia, si segnala che è nota la presenza di *C. cylindracea*, almeno presso la porzione centrale del SIC IT6000006, dove è stata rinvenuta abbondante, almeno fino a circa 10 m di profondità, anche dagli scriventi nel corso di attività di studio precedenti non riconducibili alla presente valutazione di incidenza.

Per concludere, si ritiene che l'assenza di *C. cylindracea* in alcuni settori dell'area di studio comprendente i due SIC potrebbe essere legata alla stagionalità dell'alga e, pertanto, la sua effettiva distribuzione andrebbe meglio valutata attraverso osservazioni da programmare nei mesi di settembre-ottobre periodo corrispondente al suo massimo sviluppo vegetativo.

- **Distribuzione e stato di qualità di *Posidonia oceanica* (Cod. Habitat 1120*)**

Nella zona compresa tra Bagni di S. Agostino e Torre Valdaliga Fusco (1960) segnalava una prateria molto estesa sia verso Nord che verso il largo, situazione che invece non viene confermata dai successivi lavori. Ardizzone e Belluscio (1996) segnalavano, infatti, tra la foce del fiume Mignone e Civitavecchia la presenza di macchie di *Posidonia* più o meno grandi sia in catini di sabbia che su roccia, con un popolamento bentonico di fondi duri ascrivibile talvolta al Precoralligeno.

Diviacco *et al.* (2001) descrivevano una prateria di circa 500 ettari che si sviluppava prevalentemente su substrato duro dalla costa fino al limite inferiore intorno ai 20 m di profondità, sottolineavano inoltre come la prateria fosse caratterizzata da una bassa densità di fasci fogliari per mq sia sottocosta che più al largo. Gli studi più recenti che hanno riguardato la mappatura degli habitat costieri del Lazio (Università di Roma, La Sapienza e Regione Lazio, 2011) forniscono, per l'area oggetto della nostra indagine relativa al SIC IT6000005, pressoché le stesse indicazioni: la maggior parte della *Posidonia* presente si insedia su fondo roccioso per un'estensione complessiva di 446 ha (= 4.46 Km²) (Fig. 1.4.3.1 da Patricchio, 2013).



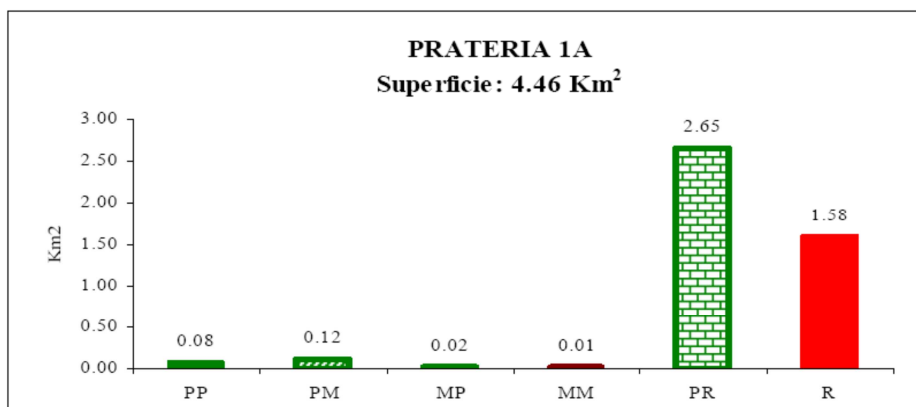


Figura 1.4.3.1. Cartografia ed estensione in Km² delle tipologie presenti per la prateria 1A, corrispondente alla prateria oggetto del presente studio (SIC IT6000005)

Come già riferito nel paragrafo precedente, le indagini effettuate per la realizzazione della Valutazione di Incidenza oggetto della presente relazione confermano le valutazioni di quest'ultimo studio e completano il quadro informativo con indicazioni relative alle aree non cartografate nel 2011 al largo della centrale ENEL di Torre Valdaliga e nell'area di P.ta Mattonara (Allegato 2 e Allegato 4).

Tuttavia, si segnala che la superficie complessiva della prateria denominata 1A dovrebbe essere pari a 288 ha cioè 446 ha – 158 ha di sola roccia! A questi 288 ha vanno sommate le superfici mappate nel corso di questo studio per la valutazione di incidenza.

Una valutazione della superficie di fondo marino effettivamente occupato da *P. oceanica* è estremamente difficoltosa data l'estensione del SIC e la variabilità riscontrata nel parametro "copertura" dovuta all'eterogeneità del substrato di impianto. Tuttavia, un tentativo è stato fatto per l'area prospiciente P.ta Mattonara direttamente interessata dai lavori di ampliamento del Porto di Civitavecchia. Nello studio in questione la superficie effettivamente occupata dalle piante al netto delle aree a roccia nuda, sabbia e coralligeno è risultata pari ad un valore variabile tra gli 8 ed i 13 ettari (Allegato 4) a fronte dei circa 40 ettari che rientrerebbero nelle tipologie descritte in Fig. 1.4.3.1, si parla di un rapporto approssimativamente di 1:4.

Da quanto detto, e generalizzando il dato su tutto il SIC, si potrebbe giungere alla conclusione che laddove si parla di 288 ha + circa 100 ha (Mattonara + area ENEL) = 400 ettari di prateria si dovrebbe più correttamente parlare di porzioni di prateria, per sua natura frammentata, che nel loro insieme contribuiscono per una superficie vegetata da *P. oceanica* pari, secondo il rapporto 1:4 individuato per l'area della Mattonara, a circa 100 ettari.

Nel tratto di litorale compreso tra Punta Pecoraro (Civitavecchia) e Palo (Ladispoli) sono presenti 4 praterie che si sviluppano principalmente su substrati rocciosi.

Fusco (1960) ne rappresenta la distribuzione nella carta di pesca n°1, ed indica una fascia continua di *Posidonia* che da Civitavecchia si estende fino a S. Severa e che si ingrandisce particolarmente verso il largo in corrispondenza di S. Marinella.

Ardizzone e Belluscio (1996) hanno effettuato in quest'area ispezioni per transetti tramite telecamere subacquee filoguidate. Da Civitavecchia fino a Capo Linaro i fondali vengono descritti come prevalentemente rocciosi con macchie di *Posidonia* presenti per lo più su roccia fino a 10 m (con copertura inferiore al 10 %) e in catini o buche di sabbia oltre questa profondità, con una copertura che raggiunge il 30-40%. Oltre i 12m di profondità e fino a circa 29 m il fondale viene descritto degradato e ancora con roccia.

Diviacco et. al (2001) descrivono una prateria generalmente rada che si estende con uno spessore variabile da 300 a 700 m, lunga circa 10, 5 Km che diventa più ampia presso Santa Marinella, dove si osserva un fondo sabbioso. La prateria si insedia per tutta la sua estensione su substrato roccioso, ad eccezione di alcune zone di limitate dimensioni ai confini col fondale sabbioso, in queste aree è presente *P. oceanica* su matte alternata a chiazze di matte morta. In generale viene descritta una presenza di *P. oceanica* su matte morta o a ciuffi sparsi attorno alle formazioni rocciose, soprattutto in corrispondenza del limite inferiore che segue l'andamento delle isobate dei 20 m.

Secondo gli studi più recenti (Università di Roma, La Sapienza e Regione Lazio, 2011), nell'area oggetto della nostra indagine relativa al SIC IT6000006, la prateria si estende nel litorale tra Civitavecchia e Santa Marinella dai 2 ai 23 m circa di profondità, su un substrato di natura rocciosa che caratterizza tutti i fondali investigati. *P. oceanica* si estende in parte anche su substrato mobile (e tutte le classi di copertura sono rappresentate), tuttavia questa porzione rappresenta meno del 7% di tutta la superficie.

In generale la prateria si presenta come una fascia parallela alla costa a volte interrotta da canali di sabbia e larga dai 300 ai 700 m.

Nella parte più a Nord della prateria (in corrispondenza di Riva di Traiano) sono stati rilevati in immersioni puntuali anche porzioni di prateria con copertura pari al 100% e densità dei fasci intorno ai 300 per mq, tuttavia mano a mano che ci si sposta verso sud la porzione di substrato roccioso non colonizzato da *Posidonia* tende ad aumentare, in particolare in corrispondenza di Santa Marinella, dove infine la prateria si interrompe (Fig. 1.4.3.2 da Patichio, 2013).

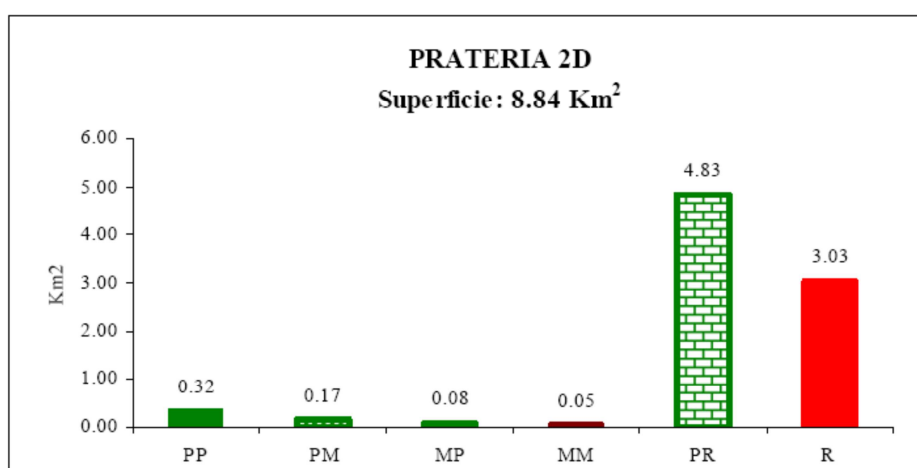
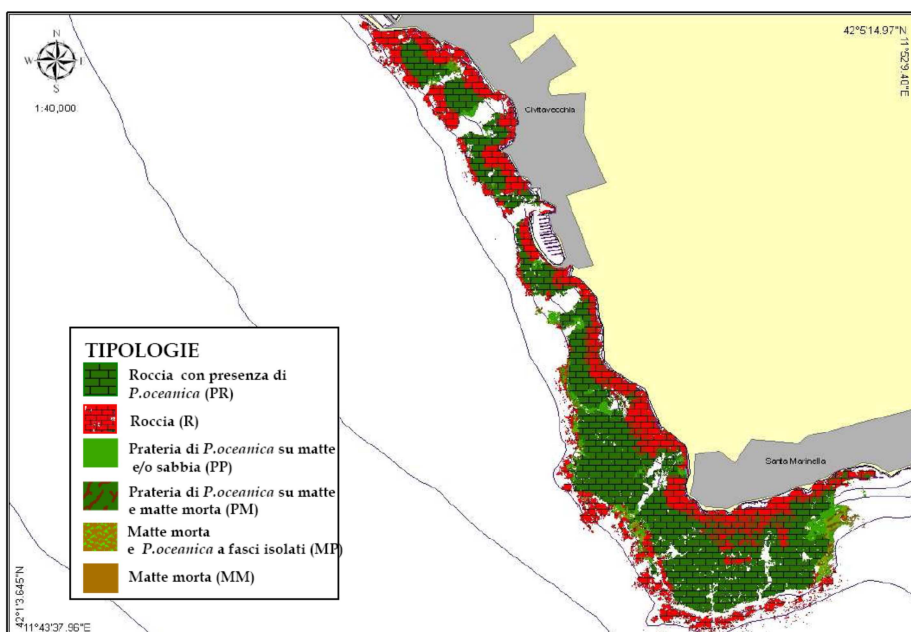


Figura 1.4.3.2. Cartografia ed estensione in Km² delle tipologie presenti per la prateria 2D, corrispondente alla prateria oggetto del presente studio (SIC IT6000006).

Anche in questo caso, le indagini effettuate per la realizzazione della Valutazione di Incidenza oggetto della presente relazione confermano le valutazioni di quest'ultimo studio.

Valgono, altresì, le stesse considerazioni fatte in precedenza riguardo l'effettiva estensione di quella che viene definita prateria 2D: la superficie complessiva dovrebbe essere pari a 581 ha cioè 884 ha – 303 ha di sola roccia!

Inoltre, considerando le similarità tra i due SIC e volendo applicare anche su tutto il SIC IT6000006 lo stesso rapporto pari a circa 1:4 relativo alla effettiva copertura di *Posidonia* rispetto al substrato

di impianto rilevato nell'area di P.ta Mattonara, si potrebbe giungere alla conclusione che laddove si parla di 581 ha di prateria si dovrebbe ancora una volta più correttamente parlare di porzioni di prateria, per sua natura frammentata, che nel loro insieme contribuiscono per una superficie vegetata da *P. oceanica* pari a circa 145 ettari.

La valutazione quali-quantitativa della prateria di *P. oceanica* nell'area di impronta dei SIC IT6000005 e IT6000006 è stata eseguita mediante:

- Studio *in situ* (macro-ripartizione) dei fascicoli fogliari all'interno della prateria (densità);
- studio biometrico in laboratorio dei fascicoli fogliari (micro-ripartizione).

Macro-ripartizione

La stima della densità è stata effettuata in immersione subacquea mediante conta dei fascicoli fogliari in quadrati di 40 cm di lato. I risultati sono poi stati estrapolati al metro quadro permettendo la classificazione della prateria in accordo a quanto proposto da Pergent *et al.* (1995) e comunemente adottato dalla comunità scientifica anche in Italia (Gambi M.C. e Dappiano M., 2004) (Tab. 1.4.3.2).

Tabella 1.4.3.2. Classificazione delle praterie di *Posidonia oceanica*. Sono riportati i valori di densità (fasci/m²) di riferimento per le profondità comprese tra i 5 ed i 14 metri (da Pergent *et al.*, 1995, modificato).

Praterie molto disturbate		Praterie disturbate		Praterie in equilibrio			
Profondità (m)	Densità anormale		Densità subnormale bassa		Densità normale		Densità subnormale alta
5		413	< - >	525	< - >	749	
6		367	< - >	479	< - >	703	
7		327	< - >	429	< - >	663	
8		294	< - >	406	< - >	630	
9		264	< - >	376	< - >	600	
10		237	< - >	349	< - >	573	
11		213	< - >	325	< - >	549	
12		191	< - >	303	< - >	527	
13		170	< - >	282	< - >	506	
14		151	< - >	263	< - >	487	

Dall'analisi delle immagini ROV e dai rilievi eseguiti in immersione dagli Operatori Scientifici Subacquei, presso le stazioni di campionamento (TRn) il substrato è costituito principalmente da una piattaforma rocciosa talvolta interrotta da catini sabbiosi di modeste dimensioni. La pianta è distribuita a macchie colonizzando in modo discontinuo sia direttamente la roccia che la sabbia nelle buche e nei catini che eventualmente si aprono sulla superficie rocciosa. I valori di copertura rilevati mediante la tecnica del *Line Intercept Transect* sono risultati estremamente variabili ed oscillano tra circa il 23% ed il 66% nelle stazioni più superficiali (posizionate tra 4 e 6 metri di profondità) e tra circa il 10% ed il 39% nelle stazioni posizionate a più di 10 metri di profondità (Tab.1.4.3.3. e Fig. 1.4.3.3 e 1.4.3.4).

Tabella 1.4.3.3. Valori medi per stazione (n = 4) della copertura di *Posidonia oceanica*.

Stazioni superficiali	
	Cop % Pos
TR1 N	35
TR2 N	38,33
TR5 N	65,83
TR6 N	49,17
TR7 N	23,33
TR8 N	64,17
TR9 N	44,17
TR10 N	23,33
TR11 N	39,17
Stazioni profonde (oltre i 10 m)	
	Cop % Pos
TR3 N	13,33
TR4 N	10
TR12 N	39,17

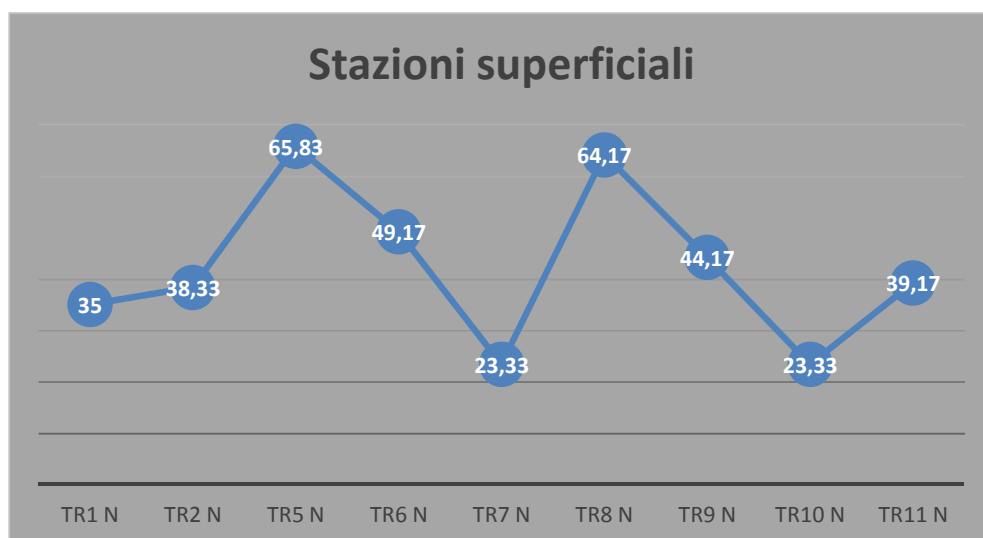


Figura 1.4.3.3. Andamento dei valori medi di copertura di *Posidonia oceanica* presso le stazioni superficiali.

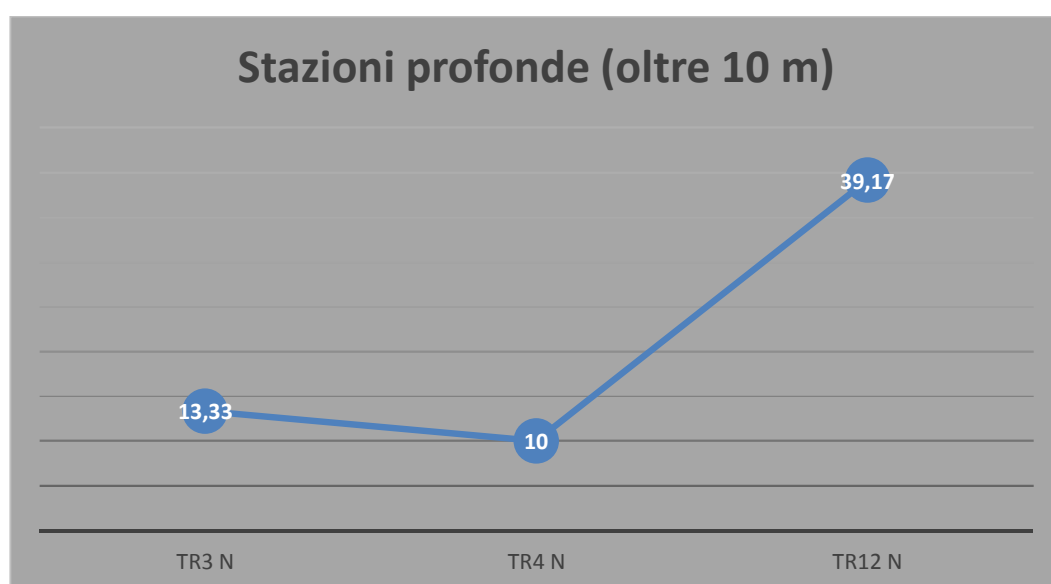


Figura 1.4.3.4. Andamento dei valori medi di copertura di *Posidonia oceanica* presso le stazioni profonde.

Considerando la profondità di campionamento tra -5 e -11 m, secondo i dati rilevati presso tutte le stazioni la prateria deve essere classificata come “molto disturbata” (Tab. 1.4.3.2). Infatti, presso le 9 stazioni indagate tutti i valori di densità media per stazione sono sempre risultati più bassi rispetto al valore di riferimento minimo relativo a praterie “disturbate” (Tab. 1.4.3.4 e Fig.1.4.3.5).

Solo in due casi, presso le stazioni POS5 e POS8, i valori misurati si avvicinano molto a quelli di riferimento. Le due stazioni in questione sono anche le più profonde cosa che potrebbe suggerire un maggior disturbo, plausibilmente dovuto all'idrodinamismo, subito dalle stazioni più superficiali rispetto a quelle profonde (Tab. 1.4.3.4).

Tabella 1.4.3.4. Valori di densità media dei fasci fogliari di *Posidonia oceanica* misurati presso le stazioni di campionamento del SIC IT6000005 e profondità di campionamento.

SIC NORD	IT6000005		
PROF m.	STAZ	Densità fasci/mq	Valori di riferimento
5	POS1	288,44	413
5	POS2	242,22	413
5	POS3	295,56	413
5	POS4	278,67	413
8	POS5	279,56	294
5	POS6	306,22	413
6	POS7	272,89	367
11	POS8	195,56	213
5	POS9	268	413

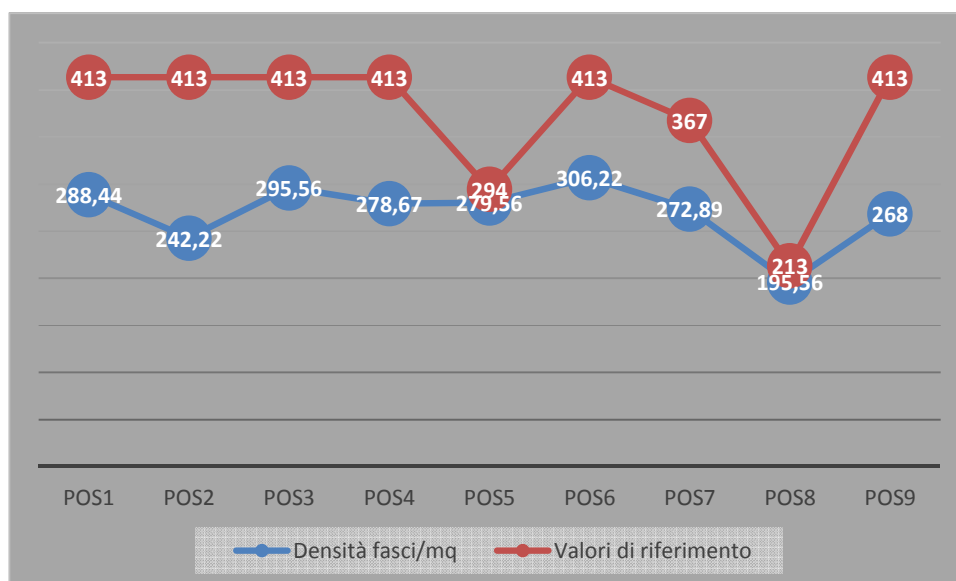


Figura 1.4.3.5. Confronto tra i valori di densità dei fasci fogliari di *Posidonia oceanica* misurati presso le stazioni di campionamento del SIC IT6000005 ed i valori di riferimento per praterie “disturbate”.

Tale risultato si discosta da quanto rilevato negli studi precedenti eseguiti dal Dip. Di Scienze Ecologiche e Biologiche dell’Università della Tuscia, per i quali le due stazioni posizionate all’interno del SIC IT6000005 riferiva in un caso di una prateria “disturbata” e nell’altro di una prateria “in equilibrio” (Fig. 1.4.3.11).

SIC IT6000006

Dall’analisi delle immagini ROV e dai rilievi eseguiti in immersione dagli Operatori Scientifici Subacquei, presso le stazioni di campionamento (TRn S) il substrato è costituito principalmente da una piattaforma rocciosa talvolta interrotta da catini sabbiosi di modeste dimensioni. La pianta è distribuita a macchie colonizzando in modo discontinuo sia direttamente la roccia che la sabbia nelle buche e nei catini che eventualmente si aprono sulla superficie rocciosa. I valori di copertura rilevati mediante la tecnica del *Line Intercept Transect* sono risultati estremamente variabili ed oscillano tra circa il 1% ed il 51% nelle stazioni più superficiali (posizionate tra 4 e 6 metri di profondità) l’unica stazione posizionate un po’ più in profondità (TR6 S) a circa - 10 metri mostra comunque una copertura comparabile a tutte le altre. Solo la stazione TR1 S, quella più vicina all’area portuale, si discosta da tutte le altre in quanto *Posidonia oceanica* appare praticamente assente. (Tab.1.4.3.5. e Fig. 1.4.3.6).

Tabella 1.4.3.5. Valori medi per stazione (n = 4) della copertura di *Posidonia oceanica*.

	Cop % Pos
TR1 S	0,83
TR2 S	50,83
TR3 S	22,5
TR4 S	24,17
TR5 S	38,33
TR6 S	33,33

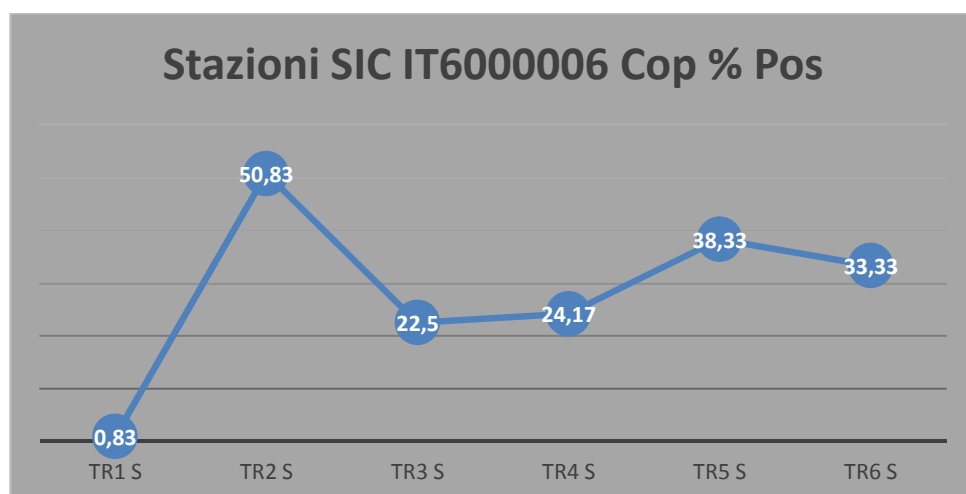


Figura 1.4.3.6. Andamento dei valori medi di copertura di *Posidonia oceanica* presso le stazioni indagate.

Considerando la profondità di campionamento tra -5 e -9 m, secondo i dati rilevati presso tutte le stazioni (POS_n Sud) la prateria deve essere classificata come “molto disturbata”(Tab. 1.4.3.2 e 1.4.3.6). Infatti, presso le 4 stazioni indagate tutti i valori di densità media per stazione sono sempre risultati più bassi rispetto al valore di riferimento minimo relativo a praterie “disturbate” (Tab. 1.4.3.6 e Fig.1.4.3.7). Solo in un caso, presso la stazione POS4 SUD, il valore misurato si avvicina molto a quello di riferimento. La stazione in questione è anche la più profonda, così come rilevato precedentemente presso il SIC IT6000005, tale osservazione potrebbe suggerire un

maggior disturbo, forse dovuto all'idrodinamismo, subito dalle stazioni più superficiali rispetto a quelle profonde.

Tabella 1.4.3.6. Valori di densità media dei fasci fogliari di *Posidonia oceanica* misurati presso le stazioni di campionamento del SIC IT6000006 e profondità di campionamento.

SIC SUD	IT6000006		
PROF m.	STAZ	Densità fasci/mq	Valori di riferimento
6	POS1 Sud	221,78	367
7	POS2 Sud	251,11	327
5	POS3 Sud	254,22	413
9	POS4 Sud	250,22	264

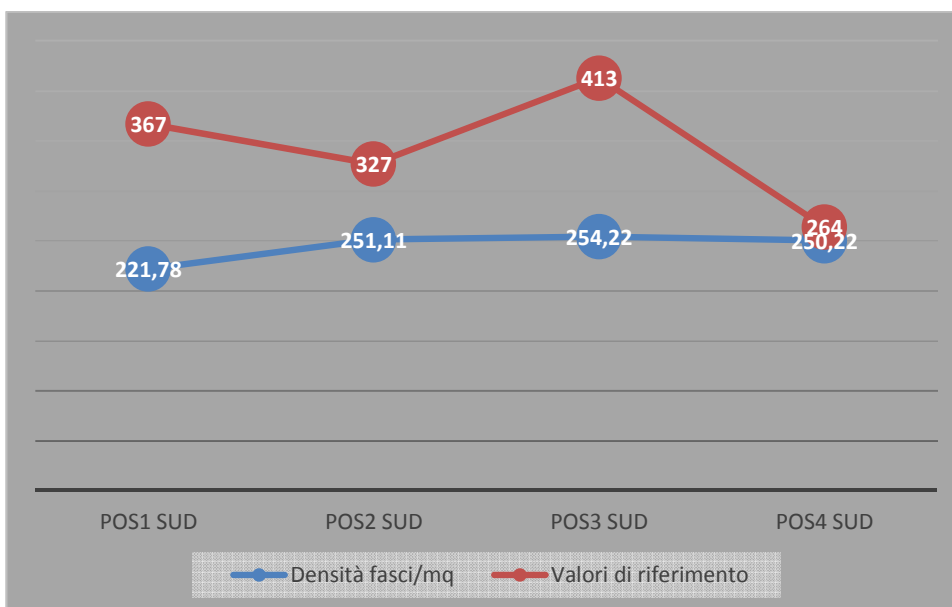


Figura 1.4.3.7. Confronto tra i valori di densità dei fasci fogliari di *Posidonia oceanica* misurati presso le stazioni di campionamento del SIC IT6000006 ed i valori di riferimento per praterie "disturbate".

In Figura 1.4.3.8 è illustrato l'andamento delle densità rilevate in entrambi i SIC. Il grafico evidenzia come non ci sia un evidente gradiente di qualità in relazione alla distanza dal Porto di Civitavecchia. Tale risultato, basato sui risultati appena esposti, verrà ulteriormente valutato nei prossime pagine incrociando il dato sia con i risultati di altre campagne di studio effettuate recentemente nella stessa area sia con i risultati relativi all'area di P.ta Mattonara (Allegato 4).

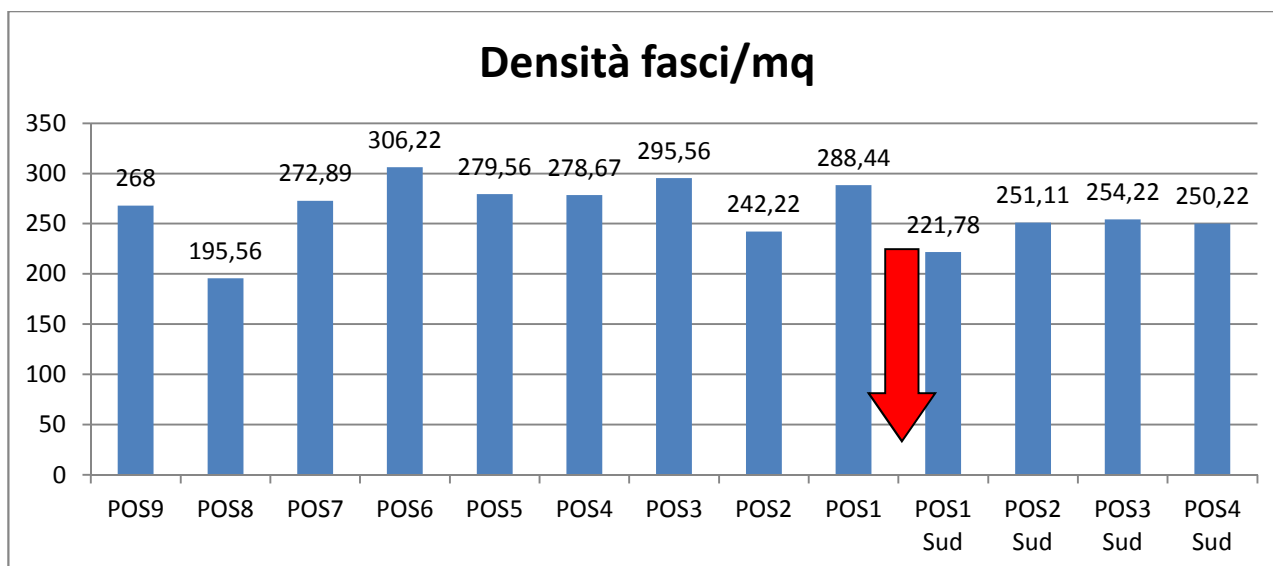


Figura 1.4.3.8. Valori di densità dei fasci fogliari di *Posidonia oceanica* misurati presso le stazioni di campionamento dei SIC IT6000005 e IT6000006. La freccia rossa indica la potenziale fonte di disturbo rappresentata dal Porto di Civitavecchia.

SIC IT6000005 e SIC IT6000006 (dati 2013)

Di seguito vengono riportati i risultati relativi alla campagna di caratterizzazione delle praterie di *Posidonia oceanica* eseguita tra Maggio e Giugno del 2013 dagli operatori subacquei del Laboratorio di Oceanologia Sperimentale ed Ecologia marina, Dip. di Scienze Ecologiche e Biologiche dell'Università della Tuscia.

Sono state eseguite misure *in situ* ed effettuati campionamenti di tipo distruttivo in 18 punti compresi tra Marina di Tarquinia e Santa Severa, che hanno permesso di valutare lo stato di salute delle praterie di *Posidonia oceanica* presenti in questo tratto di costa.

Verranno trattati solo i dati riguardanti il tratto di costa di interesse per questa valutazione di incidenza, funzionali alla trattazione ed al completamento delle informazioni relative alla porzione centrale del SIC IT6000006 (tra il Porto di Civitavecchia e Capo Linaro) (Tab. 1.4.3.7 e Fig. 1.4.3.9).

Tabella 1.4.3.7. Punti di campionamento selezionati per il monitoraggio delle praterie di *Posidonia oceanica*. Per le stazioni viene riportata la denominazione, posizione e profondità.

Coordinate geografiche WGS 84 in gg° mm.mm'			
Stazioni	Latitudine	Longitudine	Profondità (m)
SIC IT6000005			
POS.04	42°08.82'	11°43.88'	9
POS.05	42°08.08'	11°44.43'	7.5
SIC IT6000006			
POS.06	42°07.10'	11°45.20'	11
POS.07	42°03.03'	11°48.93'	8.5
POS.08	42°01.88'	11°54.88'	10
POS.09	42°01.98'	11°48.93'	16
POS.10	42°02.43'	11°48.98'	11
POS.19	42° 4.81'	11° 47.84'	7.5
POS.20	42°3.33'	11°48.76'	10

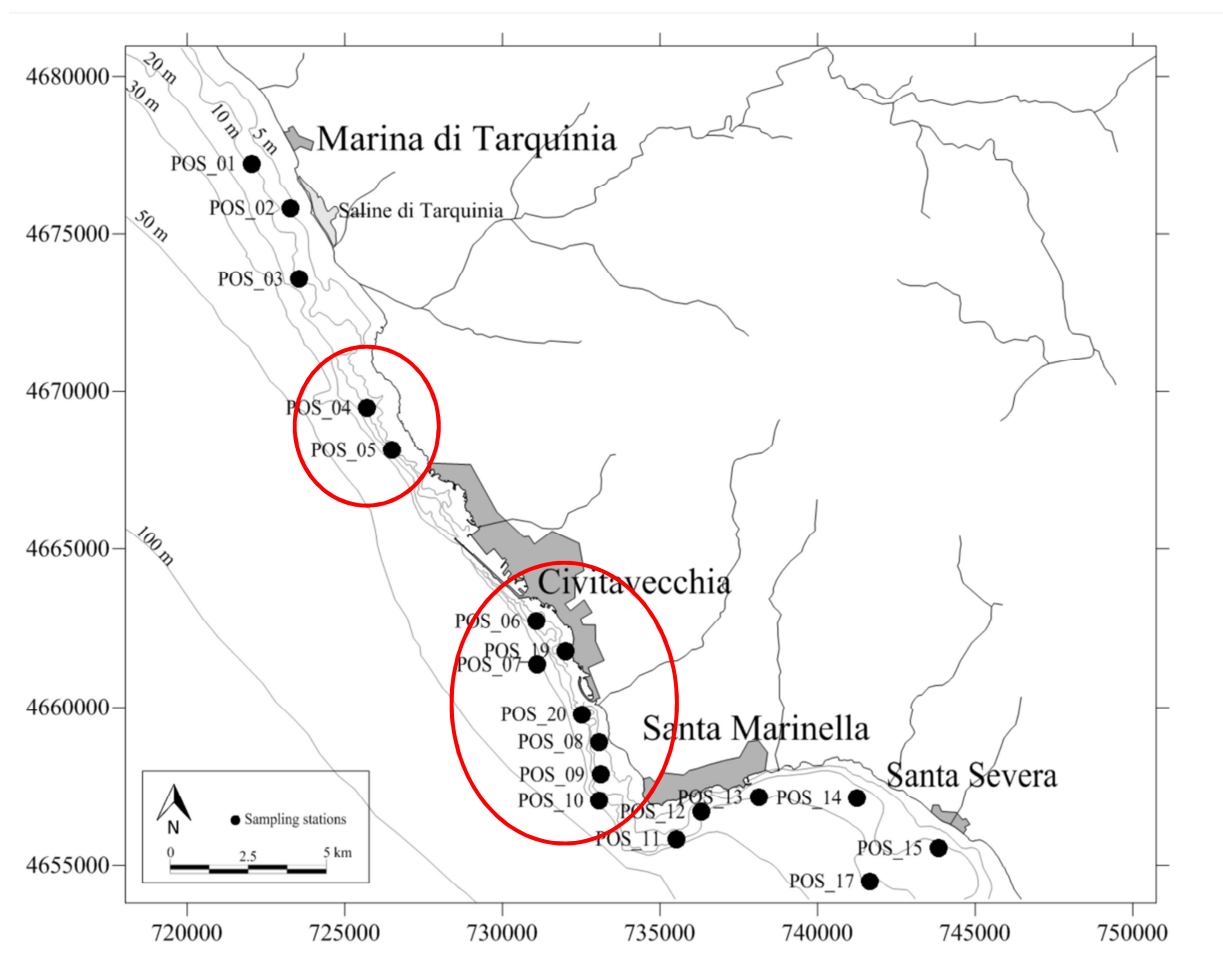


Figura 1.4.3.9. Localizzazione delle stazioni di campionamento sono evidenziate quelle utilizzate per la presente trattazione.

I risultati di seguito riportati supportano le osservazioni precedentemente riferite circa la complessità geomorfologica dell'area di studio che porta ad una elevata eterogeneità strutturale delle praterie di *Posidonia oceanica* presenti; la maggior parte di queste infatti si sviluppa su substrato roccioso interrotto da numerosi catini sabbiosi, con evidenti ripercussioni sulla copertura e sulla densità assoluta dei fasci al m².

L'immagine qui di seguito riportata mette in evidenza la complessità geomorfologica dell'area di studio e le differenti tipologie di substrato colonizzate dalle praterie oggetto di studio. Come si osserva dall'immagine (Fig. 1.4.3.10), la maggior parte delle operazioni di campionamento sono state eseguite su substrato roccioso a profondità comprese tra i 7 m ed i 16 m di profondità.

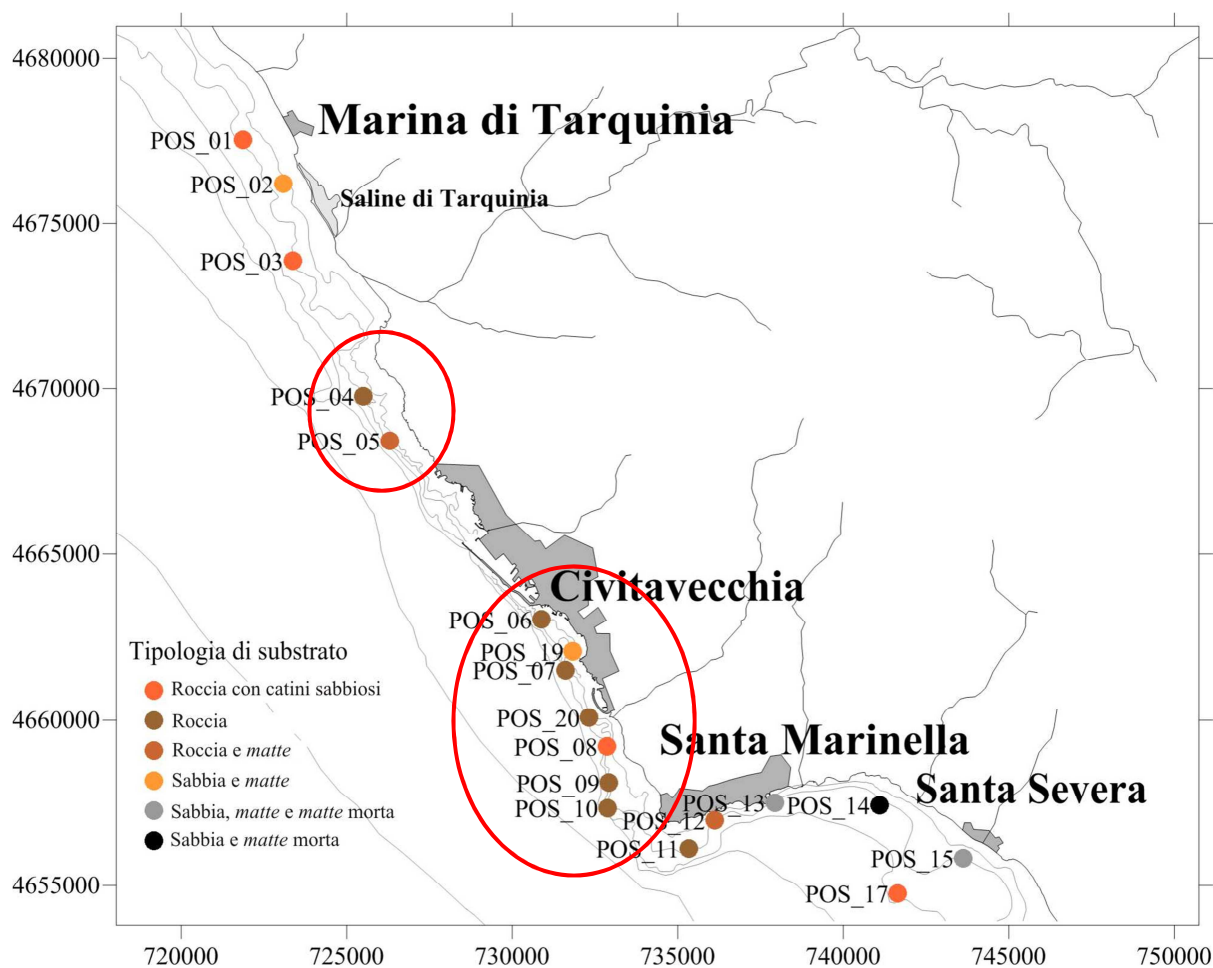


Figura 1.4.3.10. Tipologie di substrato delle praterie di *Posidonia oceanica* campionate.

Osservando i valori di copertura del substrato da parte della pianta (Fig. 1.4.3.11), è possibile notare che non sono presenti praterie continue nell'area di studio, ma che la pianta colonizza il substrato in modo discontinuo, distribuendosi talvolta a *patches* con pochi ciuffi sparsi, talvolta dando luogo a macchie di estese dimensioni che coprono totalmente il substrato.

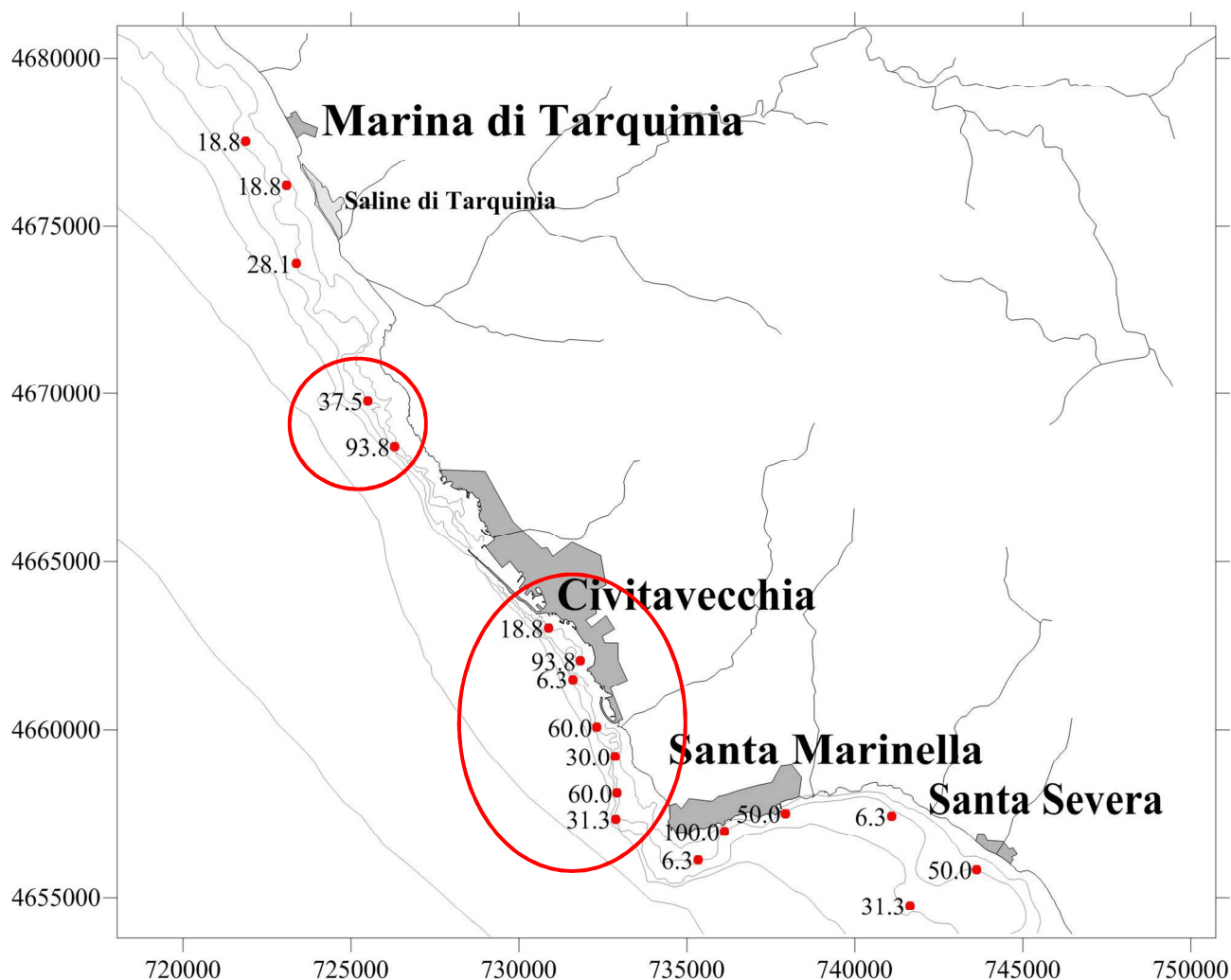


Fig. 1.4.3.11. Valori mediani di copertura del substrato da parte di *Posidonia oceanica* rilevati nelle stazioni di campionamento

Tutta l'area di studio è caratterizzata da una elevatissima eterogeneità strutturale, senza una vera e propria prateria, estesa ed uniforme, ma con la presenza di realtà estremamente frammentate e più o meno isolate tra loro, con diversi gradi di copertura.

Come si osserva dalla figura 1.4.3.12, in 5 stazioni (su 18) le praterie sono “molto disturbate”, 10 praterie sono “disturbate” e 3 praterie risultano essere “in equilibrio”.

Considerando solo le stazioni di nostro interesse, presso il SIC IT6000005 nella stazione POS.04 si configura una prateria “disturbata” mentre presso la stazione POS.05 la prateria è “in equilibrio”. Presso il SIC IT6000006 rileviamo 5 stazioni nelle quali si configura una prateria “disturbata” e 2, di cui una prossima alle dighe a Sud del Porto, dove si configura una prateria “molto disturbata”.

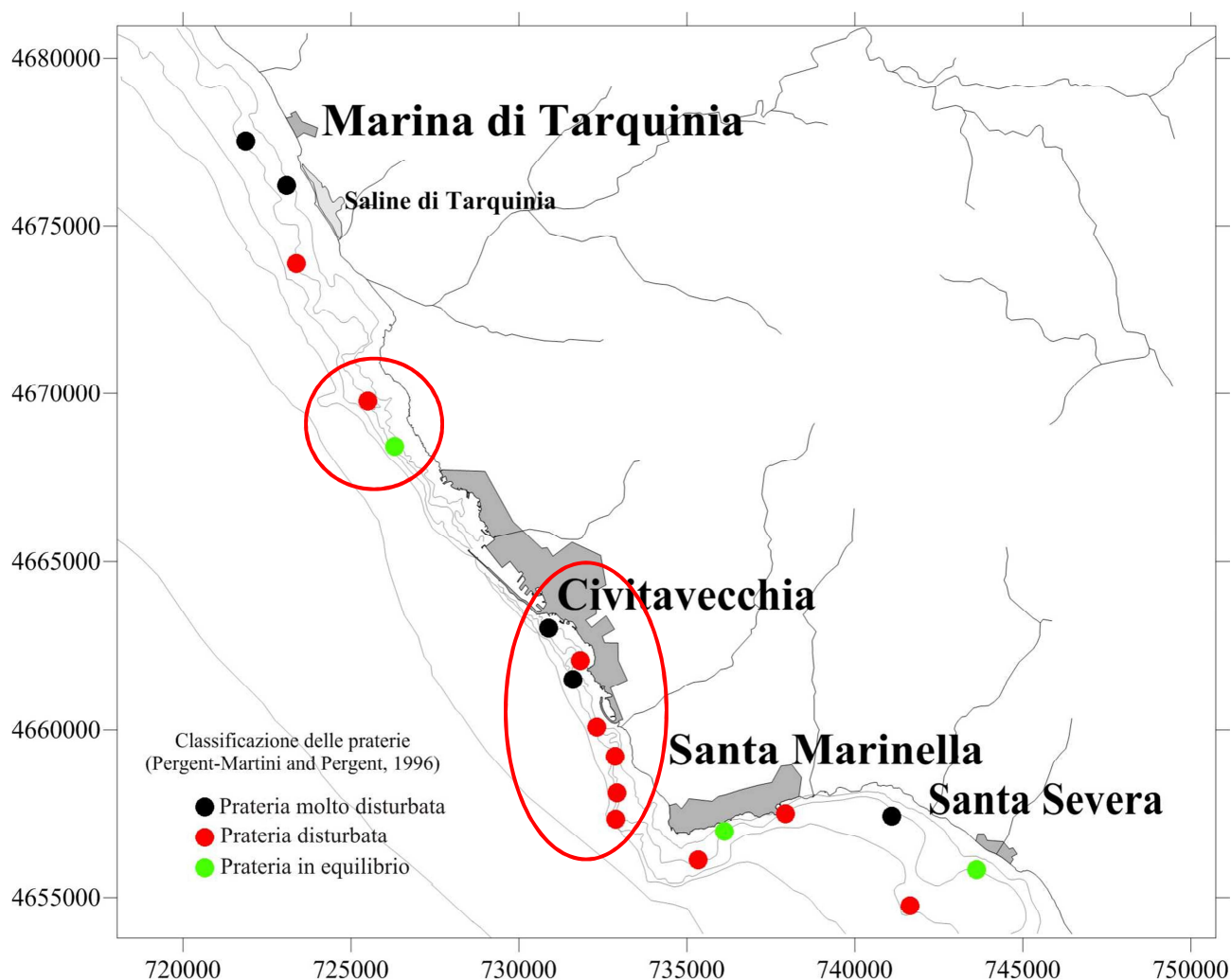


Fig. 1.4.3.12. Classificazione delle praterie sulla base della scala proposta da Pergent *et al.*, 1995.

Nella Figura 1.4.3.13 sono riportati i valori di densità assoluta (mediane) rilevati in ogni stazione di campionamento. Il valore mediano di densità assoluta per stazione varia da un minimo di 150 fasci fogliari/m², misurati nella stazione POS_07, posta a sud del Porto di Civitavecchia, in corrispondenza di Punta del Pecoraro, ad un massimo di 637.5 fasci fogliari/m² nella stazione POS_05, situata subito a nord del porto.

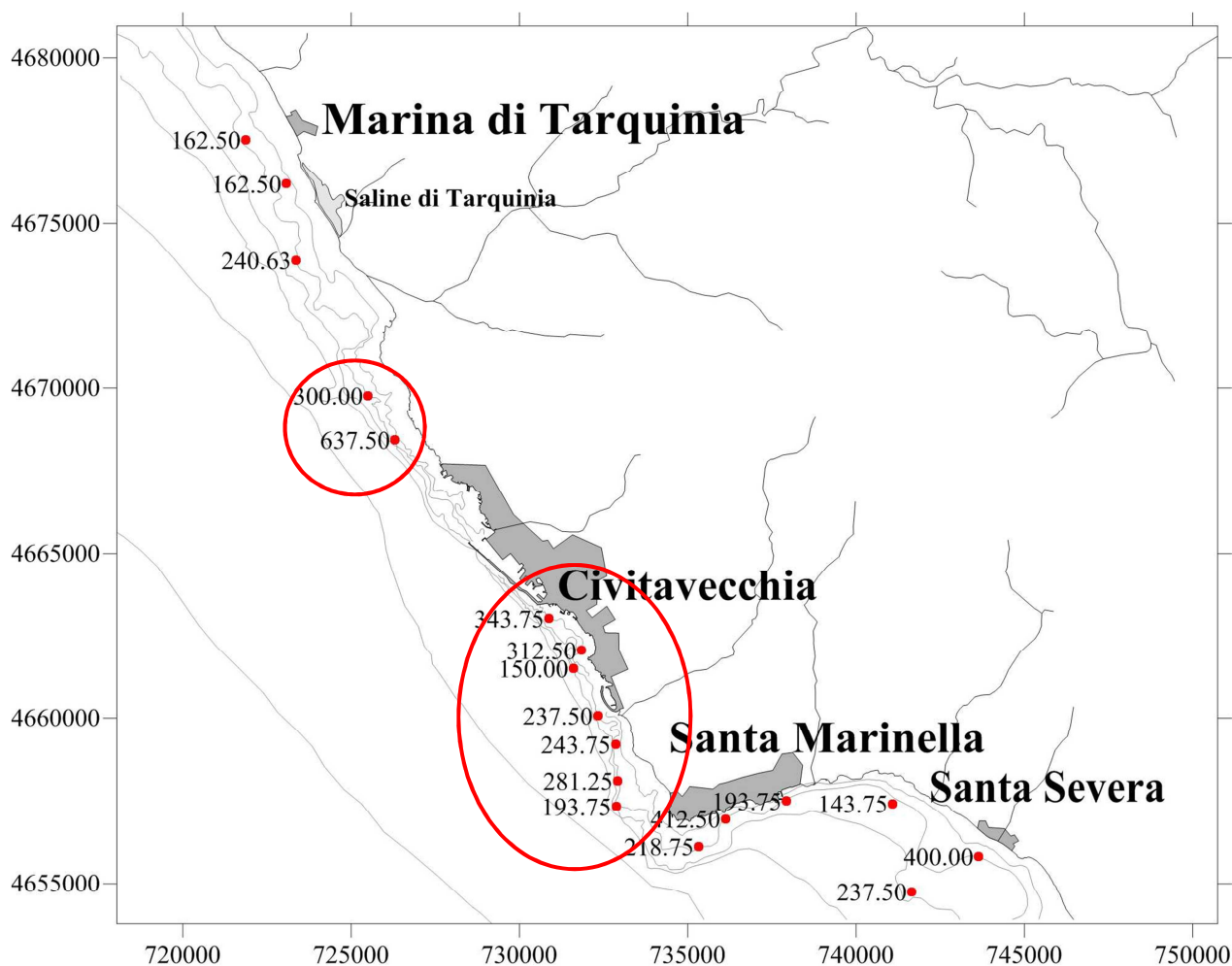


Fig. 1.4.3.13. Valori mediani di densità assoluta dei fasci fogliari rilevati nelle 18 stazioni di campionamento.

Micro-ripartizione

I risultati dello studio biometrico eseguito in laboratorio sui fascicoli fogliari sono riassunti nelle schede che seguono. Ciascuna scheda riporta, suddivisi per ciascuna delle tre aree in cui è ripartita la stazione di campionamento, tutti i valori medi delle variabili analizzate.

Stazione POS 1**A1**

Variabili (in cm se non indicato diversamente)	Totale area	Media per fascio	Dev. Standard
Superficie fogliare per fascio (cmq)	219,67		
L.A.I. (mq/mq)	3,17		
Numero di foglie Adulte		2,17	0,41
Numero di foglie Intermedie		4,5	0,55
Numero di foglie Giovanili		0,83	0,41
Lunghezza foglie Adulte		17,11	10,6
Lunghezza base		3,35	0,55
Lunghezza foglie Intermedie		20,42	8,59
Lunghezza foglie Giovanili		1,26	1,49
Lunghezza tessuto bruno	1,5		
Larghezza foglie Adulte		0,95	0,05
Larghezza foglie Intermedie		0,88	0,07
Larghezza foglie Giovanili		0,58	0,13
Coefficiente A	56%		

A2

Variabili (in cm se non indicato diversamente)	Totale area	Media per fascio	Dev. Standard
Superficie fogliare per fascio (cmq)	151,03		
L.A.I. (mq/mq)	2,18		
Numero di foglie Adulte		1,83	0,41
Numero di foglie Intermedie		3,67	0,52
Numero di foglie Giovanili		1,67	0,52
Lunghezza foglie Adulte		12,78	2,85
Lunghezza base		2,8	0,26
Lunghezza foglie Intermedie		17,79	5,42
Lunghezza foglie Giovanili		1,92	2,07
Lunghezza tessuto bruno	0		
Larghezza foglie Adulte		0,92	0,07
Larghezza foglie Intermedie		0,86	0,06
Larghezza foglie Giovanili		0,8	0,55
Coefficiente A	51%		

A3

Variabili (in cm se non indicato diversamente)	Totale area	Media per fascio	Dev. Standard
Superficie fogliare per fascio (cmq)	228,97		
L.A.I. (mq/mq)	3,30		
Numero di foglie Adulte		2	0
Numero di foglie Intermedie		4,17	0,75
Numero di foglie Giovanili		1,33	1,21
Lunghezza foglie Adulte		22,37	8,36
Lunghezza base		3,08	0,87
Lunghezza foglie Intermedie		20,45	9,64
Lunghezza foglie Giovanili		2,3	1,42
Lunghezza tessuto bruno	21		
Larghezza foglie Adulte		0,97	0,05
Larghezza foglie Intermedie		0,88	0,09
Larghezza foglie Giovanili		0,66	0,17
Coefficiente A	49%		

Stazione POS 2**A1**

Variabili (in cm se non indicato diversamente)	Totale area	Media per fascio	Dev. Standard
Superficie fogliare per fascio (cmq)	251,89		
L.A.I. (mq/mq)	3,05		
Numero di foglie Adulte		2,67	0,82
Numero di foglie Intermedie		4,83	0,99
Numero di foglie Giovanili		1	0,63
Lunghezza foglie Adulte		16,73	6,18
Lunghezza base		3,13	0,6
Lunghezza foglie Intermedie		20,23	8,28
Lunghezza foglie Giovanili		2,41	1,79
Lunghezza tessuto bruno	1		
Larghezza foglie Adulte		0,97	0,05
Larghezza foglie Intermedie		0,91	0,06
Larghezza foglie Giovanili		0,75	0,08
Coefficiente A	59%		

A2

Variabili (in cm se non indicato diversamente)	Totale area	Media per fascio	Dev. Standard
Superficie fogliare per fascio (cmq)	257,76		
L.A.I. (mq/mq)	3,12		
Numero di foglie Adulte		2,67	0,82
Numero di foglie Intermedie		4,00	0,63
Numero di foglie Giovanili		0,50	0,55
Lunghezza foglie Adulte		20,72	8,07
Lunghezza base		3,51	0,89
Lunghezza foglie Intermedie		25,40	10,26
Lunghezza foglie Giovanili		2,73	1,50
Lunghezza tessuto bruno	4		
Larghezza foglie Adulte		0,91	0,03
Larghezza foglie Intermedie		0,85	0,06
Larghezza foglie Giovanili		0,77	0,06
Coefficiente A	60%		

A3

Variabili (in cm se non indicato diversamente)	Totale area	Media per fascio	Dev. Standard
Superficie fogliare per fascio (cmq)	296,75		
L.A.I. (mq/mq)	3,59		
Numero di foglie Adulte		2,50	1,05
Numero di foglie Intermedie		4,83	0,41
Numero di foglie Giovanili		0,50	0,84
Lunghezza foglie Adulte		23,58	12,57
Lunghezza base		3,31	0,68
Lunghezza foglie Intermedie		22,61	11,32
Lunghezza foglie Giovanili		1,83	1,18
Lunghezza tessuto bruno	0		
Larghezza foglie Adulte		0,95	0,05
Larghezza foglie Intermedie		0,91	0,06
Larghezza foglie Giovanili		0,88	0,12
Coefficiente A	49%		

Stazione POS 3**A1**

Variabili (in cm se non indicato diversamente)	Totale area	Media per fascio	Dev. Standard
Superficie fogliare per fascio (cmq)	276,18		
L.A.I. (mq/mq)	4,08		
Numero di foglie Adulte		2,83	0,41
Numero di foglie Intermedie		3,83	0,41
Numero di foglie Giovanili		0,50	0,55
Lunghezza foglie Adulte		28,45	8,73
Lunghezza base		2,71	0,94
Lunghezza foglie Intermedie		22,91	10,13
Lunghezza foglie Giovanili		3,00	1,50
Lunghezza tessuto bruno	15,8		
Larghezza foglie Adulte		0,89	0,07
Larghezza foglie Intermedie		0,82	0,06
Larghezza foglie Giovanili		0,73	0,06
Coefficiente A	56%		
A2			
Variabili (in cm se non indicato diversamente)	Totale area	Media per fascio	Dev. Standard
Superficie fogliare per fascio (cmq)	282,22		
L.A.I. (mq/mq)	4,17		
Numero di foglie Adulte		3,00	0,89
Numero di foglie Intermedie		5,00	0,89
Numero di foglie Giovanili		1,00	0,89
Lunghezza foglie Adulte		20,80	9,11

Lunghezza base		3,01	0,78
Lunghezza foglie Intermedie		21,06	12,63
Lunghezza foglie Giovanili		1,72	1,07
Lunghezza tessuto bruno	0		
Larghezza foglie Adulte		0,94	0,05
Larghezza foglie Intermedie		0,85	0,06
Larghezza foglie Giovanili		0,70	0,06
Coefficiente A	54%		

A3

Variabili (in cm se non indicato diversamente)	Totale area	Media per fascio	Dev. Standard
Superficie fogliare per fascio (cmq)	145,79		
L.A.I. (mq/mq)	2,15		
Numero di foglie Adulte		2,50	0,55
Numero di foglie Intermedie		3,50	0,55
Numero di foglie Giovanili		0,83	0,41
Lunghezza foglie Adulte		16,09	3,19
Lunghezza base		1,99	0,51
Lunghezza foglie Intermedie		14,84	4,96
Lunghezza foglie Giovanili		2,98	1,53
Lunghezza tessuto bruno	3		
Larghezza foglie Adulte		0,85	0,05
Larghezza foglie Intermedie		0,80	0,05
Larghezza foglie Giovanili		0,70	0,07
Coefficiente A	61%		

Stazione POS 4**A1**

Variabili (in cm se non indicato diversamente)	Totale area	Media per fascio	Dev. Standard
Superficie fogliare per fascio (cmq)	146,81		
L.A.I. (mq/mq)	2,05		
Numero di foglie Adulte		1,83	0,41
Numero di foglie Intermedie		3,50	0,55
Numero di foglie Giovanili		1,00	0,63
Lunghezza foglie Adulte		12,95	4,32
Lunghezza base		2,41	0,74
Lunghezza foglie Intermedie		17,36	6,94
Lunghezza foglie Giovanili		2,55	1,98
Lunghezza tessuto bruno	16		
Larghezza foglie Adulte		0,94	0,05
Larghezza foglie Intermedie		0,88	0,07
Larghezza foglie Giovanili		0,70	0,17
Coefficiente A	58%		

A2

Variabili (in cm se non indicato diversamente)	Totale area	Media per fascio	Dev. Standard
Superficie fogliare per fascio (cmq)	170,77		
L.A.I. (mq/mq)	2,38		
Numero di foglie Adulte		2,00	0,63
Numero di foglie Intermedie		3,83	0,75
Numero di foglie Giovanili		0,50	0,55
Lunghezza foglie Adulte		14,73	4,92
Lunghezza base		2,71	0,78
Lunghezza foglie Intermedie		18,20	7,23
Lunghezza foglie Giovanili		2,90	1,97
Lunghezza tessuto bruno	1,5		
Larghezza foglie Adulte		0,94	0,07
Larghezza foglie Intermedie		0,88	0,08
Larghezza foglie Giovanili		0,80	0,10
Coefficiente A	50%		
A3			
Variabili (in cm se non indicato diversamente)	Totale area	Media per fascio	Dev. Standard
Superficie fogliare per fascio (cmq)	209,52		
L.A.I. (mq/mq)	2,92		
Numero di foglie Adulte		2,33	0,52
Numero di foglie Intermedie		4,17	0,75
Numero di foglie Giovanili		0,50	0,55
Lunghezza foglie Adulte		17,93	5,88
Lunghezza base		2,93	0,73

Lunghezza foglie Intermedie		20,05	9,51
Lunghezza foglie Giovanili		2,70	1,82
Lunghezza tessuto bruno	5		
Larghezza foglie Adulte		0,89	0,06
Larghezza foglie Intermedie		0,87	0,06
Larghezza foglie Giovanili		0,73	0,06
Coefficiente A	60%		

Stazione POS 5**A1**

Variabili (in cm se non indicato diversamente)	Totale area	Media per fascio	Dev. Standard
Superficie fogliare per fascio (cmq)	329,71		
L.A.I. (mq/mq)	4,61		
Numero di foglie Adulte		2,17	0,41
Numero di foglie Intermedie		3,67	0,52
Numero di foglie Giovanili		1,17	0,41
Lunghezza foglie Adulte		39,15	7,88
Lunghezza base		3,68	0,56
Lunghezza foglie Intermedie		24,60	11,64
Lunghezza foglie Giovanili		2,81	1,57
Lunghezza tessuto bruno	18		
Larghezza foglie Adulte		0,99	0,02
Larghezza foglie Intermedie		0,95	0,06
Larghezza foglie Giovanili		0,84	0,05
Coefficiente A	45%		

A2

Variabili (in cm se non indicato diversamente)	Totale area	Media per fascio	Dev. Standard
Superficie fogliare per fascio (cmq)	359,21		
L.A.I. (mq/mq)	5,02		
Numero di foglie Adulte		1,83	0,41
Numero di foglie Intermedie		4,50	0,55
Numero di foglie Giovanili		0,33	0,52
Lunghezza foglie Adulte		35,36	10,64
Lunghezza base		3,95	0,56
Lunghezza foglie Intermedie		30,77	15,41
Lunghezza foglie Giovanili		3,95	1,34
Lunghezza tessuto bruno	6		
Larghezza foglie Adulte		0,95	0,05
Larghezza foglie Intermedie		0,90	0,06
Larghezza foglie Giovanili		0,80	0,00
Coefficiente A	33%		
A3			
Variabili (in cm se non indicato diversamente)	Totale area	Media per fascio	Dev. Standard
Superficie fogliare per fascio (cmq)	383,69		
L.A.I. (mq/mq)	5,36		
Numero di foglie Adulte		2,33	0,52
Numero di foglie Intermedie		4,50	0,55
Numero di foglie Giovanili		0,33	0,52
Lunghezza foglie Adulte		36,53	12,80
Lunghezza base		3,76	1,38

Lunghezza foglie Intermedie		30,59	14,04
Lunghezza foglie Giovanili		2,05	0,07
Lunghezza tessuto bruno	5,5		
Larghezza foglie Adulte		0,93	0,05
Larghezza foglie Intermedie		0,87	0,05
Larghezza foglie Giovanili		0,80	0,00
Coefficiente A	35%		

Stazione POS 6**A1**

Variabili (in cm se non indicato diversamente)	Totale area	Media per fascio	Dev. Standard
Superficie fogliare per fascio (cmq)	124,56		
L.A.I. (mq/mq)	1,91		
Numero di foglie Adulte		1,67	0,52
Numero di foglie Intermedie		3,67	0,52
Numero di foglie Giovanili		0,17	0,41
Lunghezza foglie Adulte		13,48	4,16
Lunghezza base		2,78	0,75
Lunghezza foglie Intermedie		15,35	6,09
Lunghezza foglie Giovanili		2,20	2,40
Lunghezza tessuto bruno	0		
Larghezza foglie Adulte		0,84	0,11
Larghezza foglie Intermedie		0,84	0,07
Larghezza foglie Giovanili		0,65	0,21
Coefficiente A	70%		
A2			
Variabili (in cm se non indicato diversamente)	Totale area	Media per fascio	Dev. Standard
Superficie fogliare per fascio (cmq)	144,25		
L.A.I. (mq/mq)	2,21		
Numero di foglie Adulte		1,83	0,75
Numero di foglie Intermedie		4,00	1,55
Numero di foglie Giovanili		1,00	1,55
Lunghezza foglie Adulte		15,01	4,29

Lunghezza base		2,52	0,44
Lunghezza foglie Intermedie		14,82	5,98
Lunghezza foglie Giovanili		1,80	1,06
Lunghezza tessuto bruno	0		
Larghezza foglie Adulte		0,90	0,09
Larghezza foglie Intermedie		0,85	0,05
Larghezza foglie Giovanili		0,71	0,16
Coefficiente A	49%		

A3

Variabili (in cm se non indicato diversamente)	Totale area	Media per fascio	Dev. Standard
Superficie fogliare per fascio (cmq)	215,34		
L.A.I. (mq/mq)	3,30		
Numero di foglie Adulte		2,17	0,41
Numero di foglie Intermedie		3,67	0,52
Numero di foglie Giovanili		0,83	0,41
Lunghezza foglie Adulte		16,56	7,77
Lunghezza base		3,64	0,63
Lunghezza foglie Intermedie		22,13	6,84
Lunghezza foglie Giovanili		2,52	1,74
Lunghezza tessuto bruno	0		
Larghezza foglie Adulte		1,00	0,00
Larghezza foglie Intermedie		0,96	0,05
Larghezza foglie Giovanili		0,70	0,23
Coefficiente A	63%		

Stazione POS 7**A1**

Variabili (in cm se non indicato diversamente)	Totale area	Media per fascio	Dev. Standard
Superficie fogliare per fascio (cmq)	299,49		
L.A.I. (mq/mq)	4,09		
Numero di foglie Adulte		2,00	0,00
Numero di foglie Intermedie		3,83	0,41
Numero di foglie Giovanili		0,17	0,41
Lunghezza foglie Adulte		28,09	11,07
Lunghezza base		3,88	0,79
Lunghezza foglie Intermedie		31,76	15,73
Lunghezza foglie Giovanili		0,35	0,21
Lunghezza tessuto bruno	16,5		
Larghezza foglie Adulte		0,92	0,04
Larghezza foglie Intermedie		0,87	0,05
Larghezza foglie Giovanili		0,40	0,14
Coefficiente A	47%		

A2

Variabili (in cm se non indicato diversamente)	Totale area	Media per fascio	Dev. Standard
Superficie fogliare per fascio (cmq)	316,99		
L.A.I. (mq/mq)	4,33		
Numero di foglie Adulte		2,67	0,52
Numero di foglie Intermedie		4,33	0,52
Numero di foglie Giovanili		0,17	0,41
Lunghezza foglie Adulte		25,52	11,26
Lunghezza base		3,59	0,93
Lunghezza foglie Intermedie		26,87	12,16
Lunghezza foglie Giovanili		0,40	0,14
Lunghezza tessuto bruno	4,2		
Larghezza foglie Adulte		0,96	0,06
Larghezza foglie Intermedie		0,88	0,08
Larghezza foglie Giovanili		0,35	0,21
Coefficiente A	42%		
A3			
Variabili (in cm se non indicato diversamente)	Totale area	Media per fascio	Dev. Standard
Superficie fogliare per fascio (cmq)	534,81		
L.A.I. (mq/mq)	7,30		
Numero di foglie Adulte		3,00	0,63
Numero di foglie Intermedie		4,17	0,41
Numero di foglie Giovanili		0,67	0,82
Lunghezza foglie Adulte		41,77	19,37
Lunghezza base		3,79	1,27

Lunghezza foglie Intermedie		38,65	17,26
Lunghezza foglie Giovanili		2,18	2,34
Lunghezza tessuto bruno	42,5		
Larghezza foglie Adulte		1,00	0,03
Larghezza foglie Intermedie		0,95	0,05
Larghezza foglie Giovanili		0,55	0,24
Coefficiente A	40%		

Stazione POS 8**A1**

Variabili (in cm se non indicato diversamente)	Totale area	Media per fascio	Dev. Standard
Superficie fogliare per fascio (cmq)	209,62		
L.A.I. (mq/mq)	2,05		
Numero di foglie Adulte		2,00	0,00
Numero di foglie Intermedie		3,67	0,82
Numero di foglie Giovanili		0,17	0,41
Lunghezza foglie Adulte		16,28	6,21
Lunghezza base		2,92	0,83
Lunghezza foglie Intermedie		24,86	7,08
Lunghezza foglie Giovanili		1,40	0,00
Lunghezza tessuto bruno	0		
Larghezza foglie Adulte		0,91	0,09
Larghezza foglie Intermedie		0,88	0,07
Larghezza foglie Giovanili		0,70	0,00
Coefficiente A	17%		
A2			
Variabili (in cm se non indicato diversamente)	Totale area	Media per fascio	Dev. Standard
Superficie fogliare per fascio (cmq)	237,78		
L.A.I. (mq/mq)	2,32		
Numero di foglie Adulte		2,00	0,00
Numero di foglie Intermedie		3,67	0,82
Numero di foglie Giovanili		0,33	0,52
Lunghezza foglie Adulte		19,48	7,72

Lunghezza base		2,70	0,71
Lunghezza foglie Intermedie		28,56	9,27
Lunghezza foglie Giovanili		2,20	2,55
Lunghezza tessuto bruno	0		
Larghezza foglie Adulte		0,89	0,07
Larghezza foglie Intermedie		0,85	0,06
Larghezza foglie Giovanili		0,60	0,28
Coefficiente A	22%		

A3

Variabili (in cm se non indicato diversamente)	Totale area	Media per fascio	Dev. Standard
Superficie fogliare per fascio (cmq)	339,05		
L.A.I. (mq/mq)	3,32		
Numero di foglie Adulte		2,17	0,41
Numero di foglie Intermedie		3,33	0,52
Numero di foglie Giovanili		0,00	0,00
Lunghezza foglie Adulte		30,55	11,65
Lunghezza base		3,24	3,24
Lunghezza foglie Intermedie		38,49	14,08
Lunghezza foglie Giovanili		0,00	0,00
Lunghezza tessuto bruno	4,2		
Larghezza foglie Adulte		0,95	0,05
Larghezza foglie Intermedie		0,89	0,06
Larghezza foglie Giovanili		0,00	0,00
Coefficiente A	3%		

Stazione POS 9**A1**

Variabili (in cm se non indicato diversamente)	Totale area	Media per fascio	Dev. Standard
Superficie fogliare per fascio (cmq)	257,73		
L.A.I. (mq/mq)	3,45		
Numero di foglie Adulte		2,17	0,41
Numero di foglie Intermedie		3,83	0,41
Numero di foglie Giovanili		0,17	0,41
Lunghezza foglie Adulte		19,76	8,46
Lunghezza base		3,28	0,31
Lunghezza foglie Intermedie		29,50	10,76
Lunghezza foglie Giovanili		0,50	0,00
Lunghezza tessuto bruno	-		
Larghezza foglie Adulte		0,92	0,04
Larghezza foglie Intermedie		0,85	0,06
Larghezza foglie Giovanili		0,40	0,00
Coefficiente A	59%		

A2

Variabili (in cm se non indicato diversamente)	Totale area	Media per fascio	Dev. Standard
Superficie fogliare per fascio (cmq)	276,77		
L.A.I. (mq/mq)	3,71		
Numero di foglie Adulte		2,67	0,52
Numero di foglie Intermedie		3,33	0,52
Numero di foglie Giovanili		0,67	0,82
Lunghezza foglie Adulte		22,82	10,96
Lunghezza base		3,08	1,01
Lunghezza foglie Intermedie		30,52	15,10
Lunghezza foglie Giovanili		1,68	2,04
Lunghezza tessuto bruno	10,9		
Larghezza foglie Adulte		0,93	0,06
Larghezza foglie Intermedie		0,88	0,04
Larghezza foglie Giovanili		0,63	0,21
Coefficiente A	68%		
A3			
Variabili (in cm se non indicato diversamente)	Totale area	Media per fascio	Dev. Standard
Superficie fogliare per fascio (cmq)	348,61		
L.A.I. (mq/mq)	4,67		
Numero di foglie Adulte		2,67	0,52
Numero di foglie Intermedie		2,83	0,41
Numero di foglie Giovanili		0,50	0,55
Lunghezza foglie Adulte		30,88	15,63
Lunghezza base		3,82	0,77

Lunghezza foglie Intermedie		38,04	11,09
Lunghezza foglie Giovanili		1,03	0,32
Lunghezza tessuto bruno	0		
Larghezza foglie Adulte		0,99	0,03
Larghezza foglie Intermedie		0,95	0,05
Larghezza foglie Giovanili		0,63	0,06
Coefficiente A	72%		

Stazione POS 1SUD

A1

Variabili (in cm se non indicato diversamente)	Totale area	Media per fascio	Dev. Standard
Superficie fogliare per fascio (cmq)	429,70		
L.A.I. (mq/mq)	4,76		
Numero di foglie Adulte		2,17	0,75
Numero di foglie Intermedie		3,83	0,41
Numero di foglie Giovanili		0,17	0,41
Lunghezza foglie Adulte		41,50	15,42
Lunghezza base		3,86	1,27
Lunghezza foglie Intermedie		38,27	18,17
Lunghezza foglie Giovanili		4,50	0,00
Lunghezza tessuto bruno	18,5		
Larghezza foglie Adulte		0,98	0,04
Larghezza foglie Intermedie		0,92	0,07
Larghezza foglie Giovanili		0,80	0,00
Coefficiente A	46%		
A2			
Variabili (in cm se non indicato diversamente)	Totale area	Media per fascio	Dev. Standard
Superficie fogliare per fascio (cmq)	414,13		
L.A.I. (mq/mq)	4,59		
Numero di foglie Adulte		2,17	0,75
Numero di foglie Intermedie		3,67	0,52
Numero di foglie Giovanili		0,00	0,00

Lunghezza foglie Adulte		38,72	13,08
Lunghezza base		4,29	1,08
Lunghezza foglie Intermedie		39,80	16,40
Lunghezza foglie Giovanili		0,00	0,00
Lunghezza tessuto bruno	4,9		
Larghezza foglie Adulte		0,96	0,05
Larghezza foglie Intermedie		0,93	0,06
Larghezza foglie Giovanili		0,00	0,00
Coefficiente A	46%		

A3

Variabili (in cm se non indicato diversamente)	Totale area	Media per fascio	Dev. Standard
Superficie fogliare per fascio (cmq)	378,31		
L.A.I. (mq/mq)	4,20		
Numero di foglie Adulte		2,17	0,41
Numero di foglie Intermedie		3,33	0,52
Numero di foglie Giovanili		0,00	0,00
Lunghezza foglie Adulte		38,38	17,39
Lunghezza base		3,81	1,39
Lunghezza foglie Intermedie		39,04	14,66
Lunghezza foglie Giovanili		0,00	0,00
Lunghezza tessuto bruno	1,5		
Larghezza foglie Adulte		0,96	0,05
Larghezza foglie Intermedie		0,90	0,06
Larghezza foglie Giovanili		0,00	0,00
Coefficiente A	61%		

Stazione POS 2SUD**A1**

Variabili (in cm se non indicato diversamente)	Totale area	Media per fascio	Dev. Standard
Superficie fogliare per fascio (cmq)	345,92		
L.A.I. (mq/mq)	4,34		
Numero di foglie Adulte		2,67	0,52
Numero di foglie Intermedie		4,00	0,63
Numero di foglie Giovanili		0,00	0,00
Lunghezza foglie Adulte		34,54	12,43
Lunghezza base		3,98	1,07
Lunghezza foglie Intermedie		30,34	15,67
Lunghezza foglie Giovanili		0,00	0,00
Lunghezza tessuto bruno	0		
Larghezza foglie Adulte		0,88	0,07
Larghezza foglie Intermedie		0,84	0,09
Larghezza foglie Giovanili		0,00	0,00
Coefficiente A	48%		

A2

Variabili (in cm se non indicato diversamente)	Totale area	Media per fascio	Dev. Standard
Superficie fogliare per fascio (cmq)	432,98		
L.A.I. (mq/mq)	5,44		
Numero di foglie Adulte		2,67	0,52
Numero di foglie Intermedie		5,00	1,10
Numero di foglie Giovanili		0,33	0,52
Lunghezza foglie Adulte		35,83	16,48
Lunghezza base		4,01	0,77
Lunghezza foglie Intermedie		29,90	17,03
Lunghezza foglie Giovanili		2,70	0,71
Lunghezza tessuto bruno	0		
Larghezza foglie Adulte		0,99	0,03
Larghezza foglie Intermedie		0,88	0,08
Larghezza foglie Giovanili		0,70	0,00
Coefficiente A	42%		
A3			
Variabili (in cm se non indicato diversamente)	Totale area	Media per fascio	Dev. Standard
Superficie fogliare per fascio (cmq)	470,40		
L.A.I. (mq/mq)	5,91		
Numero di foglie Adulte		3,00	0,63
Numero di foglie Intermedie		4,17	0,41
Numero di foglie Giovanili		0,50	0,84
Lunghezza foglie Adulte		41,12	17,61
Lunghezza base		4,43	1,01

Lunghezza foglie Intermedie		32,36	18,40
Lunghezza foglie Giovanili		2,97	0,86
Lunghezza tessuto bruno	0		
Larghezza foglie Adulte		1,00	0,00
Larghezza foglie Intermedie		0,92	0,07
Larghezza foglie Giovanili		0,73	0,06
Coefficiente A	50%		

Stazione POS 3SUD**A1**

Variabili (in cm se non indicato diversamente)	Totale area	Media per fascio	Dev. Standard
Superficie fogliare per fascio (cmq)	163,75		
L.A.I. (mq/mq)	2,08		
Numero di foglie Adulte		2,00	0,00
Numero di foglie Intermedie		3,83	0,41
Numero di foglie Giovanili		0,00	0,00
Lunghezza foglie Adulte		11,82	5,26
Lunghezza base		3,11	0,28
Lunghezza foglie Intermedie		19,95	5,49
Lunghezza foglie Giovanili		0,00	0,00
Lunghezza tessuto bruno	1		
Larghezza foglie Adulte		0,88	0,04
Larghezza foglie Intermedie		0,87	0,05
Larghezza foglie Giovanili		0,00	0,00
Coefficiente A	60%		
A2			
Variabili (in cm se non indicato diversamente)	Totale area	Media per fascio	Dev. Standard
Superficie fogliare per fascio (cmq)	327,06		
L.A.I. (mq/mq)	4,16		
Numero di foglie Adulte		3,33	0,52
Numero di foglie Intermedie		4,17	0,41
Numero di foglie Giovanili		0,17	0,41
Lunghezza foglie Adulte		21,37	9,84

Lunghezza base		3,50	0,99
Lunghezza foglie Intermedie		26,88	11,22
Lunghezza foglie Giovanili		0,20	0,00
Lunghezza tessuto bruno	0		
Larghezza foglie Adulte		1,00	0,00
Larghezza foglie Intermedie		0,93	0,06
Larghezza foglie Giovanili		0,40	0,00
Coefficiente A	54%		

A3

Variabili (in cm se non indicato diversamente)	Totale area	Media per fascio	Dev. Standard
Superficie fogliare per fascio (cmq)	324,29		
L.A.I. (mq/mq)	4,12		
Numero di foglie Adulte		3,17	0,41
Numero di foglie Intermedie		4,17	0,75
Numero di foglie Giovanili		0,33	0,52
Lunghezza foglie Adulte		23,51	12,78
Lunghezza base		3,32	1,11
Lunghezza foglie Intermedie		26,41	13,62
Lunghezza foglie Giovanili		3,90	0,57
Lunghezza tessuto bruno	3		
Larghezza foglie Adulte		0,97	0,07
Larghezza foglie Intermedie		0,90	0,06
Larghezza foglie Giovanili		0,90	0,00
Coefficiente A	50%		

Stazione POS 4SUD**A1**

Variabili (in cm se non indicato diversamente)	Totale area	Media per fascio	Dev. Standard
Superficie fogliare per fascio (cmq)	295,41		
L.A.I. (mq/mq)	3,70		
Numero di foglie Adulte		2,33	0,52
Numero di foglie Intermedie		3,67	0,82
Numero di foglie Giovanili		0,17	0,41
Lunghezza foglie Adulte		28,56	10,89
Lunghezza base		2,73	1,01
Lunghezza foglie Intermedie		26,96	11,26
Lunghezza foglie Giovanili		1,40	0,00
Lunghezza tessuto bruno	11		
Larghezza foglie Adulte		0,96	0,08
Larghezza foglie Intermedie		0,91	0,08
Larghezza foglie Giovanili		0,60	0,00
Coefficiente A	43%		

A2

Variabili (in cm se non indicato diversamente)	Totale area	Media per fascio	Dev. Standard
Superficie fogliare per fascio (cmq)	277,40		
L.A.I. (mq/mq)	3,47		
Numero di foglie Adulte		2,00	0,00
Numero di foglie Intermedie		3,83	0,41
Numero di foglie Giovanili		0,33	0,52
Lunghezza foglie Adulte		21,42	10,06
Lunghezza base		3,38	0,60
Lunghezza foglie Intermedie		28,68	11,53
Lunghezza foglie Giovanili		2,00	2,26
Lunghezza tessuto bruno	0		
Larghezza foglie Adulte		1,00	0,00
Larghezza foglie Intermedie		0,93	0,08
Larghezza foglie Giovanili		0,50	0,28
Coefficiente A	32%		
A3			
Variabili (in cm se non indicato diversamente)	Totale area	Media per fascio	Dev. Standard
Superficie fogliare per fascio (cmq)	301,42		
L.A.I. (mq/mq)	3,77		
Numero di foglie Adulte		2,50	0,55
Numero di foglie Intermedie		3,67	0,52
Numero di foglie Giovanili		0,17	0,41
Lunghezza foglie Adulte		24,44	11,23
Lunghezza base		3,33	0,97

Lunghezza foglie Intermedie		29,53	12,98
Lunghezza foglie Giovanili		0,60	0,00
Lunghezza tessuto bruno	0		
Larghezza foglie Adulte		0,98	0,04
Larghezza foglie Intermedie		0,91	0,06
Larghezza foglie Giovanili		0,50	0,00
Coefficiente A	34%		

La struttura fenologica della pianta ha mostrato un numero di foglie adulte, intermedie e giovanili abbastanza congruo con il periodo invernale in cui sono stati fatti i campionamenti in mare. Tuttavia, i valori di lunghezza e larghezza media delle foglie sembrano risentire oltre che della normale stagionalità della pianta anche del substrato di insediamento, quasi sempre roccia, e della profondità media generalmente entro i -7 m.

Per tali ragioni le foglie sono piuttosto corte e leggermente più strette rispetto alle condizioni ottimali ed inoltre presentano un coefficiente A, che indica la percentuale degli apici fogliari rotti rispetto al numero di foglie totali, quasi sempre piuttosto elevato.

Le variabili derivate, superficie fogliare e Leaf Area Index, bene riassumono quanto precedentemente detto mostrando valori piuttosto lontani da una condizione ottimale (Fig. 1.4.3.14 e 1.4.3.15).

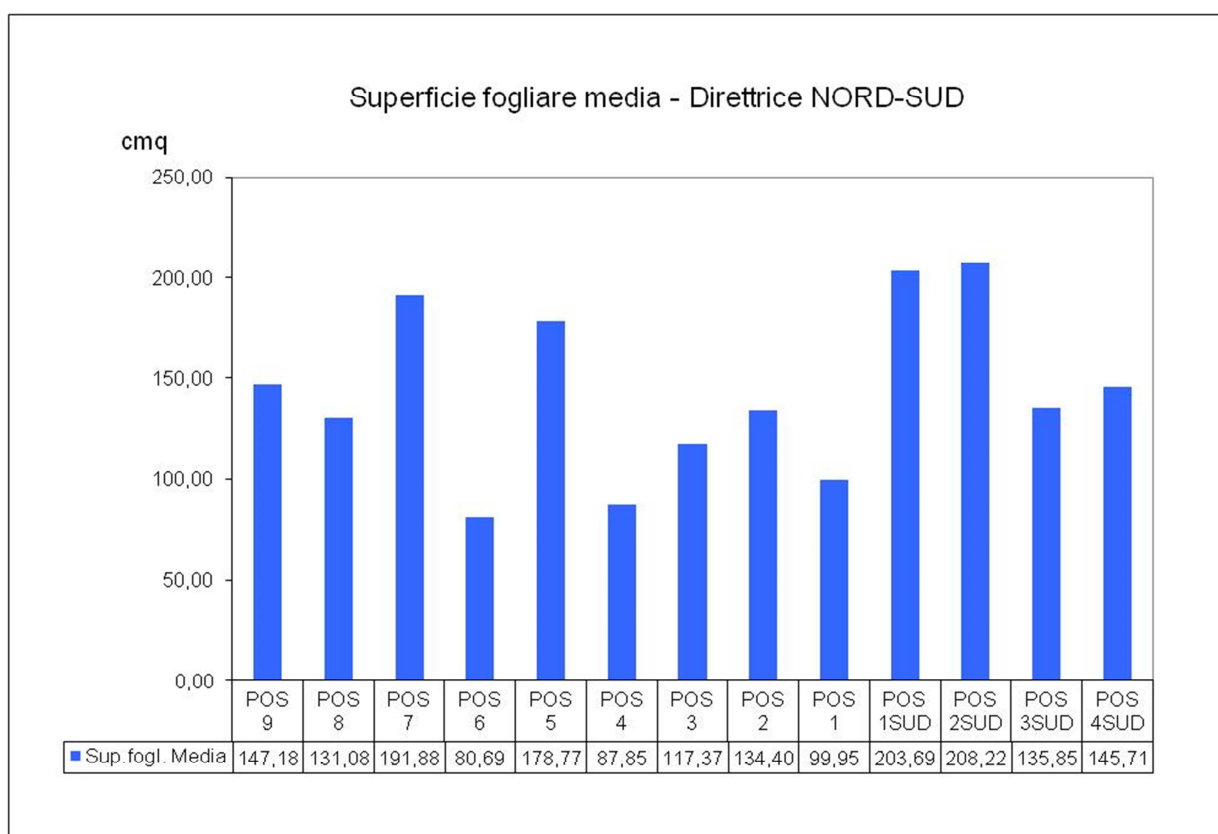


Fig. 1.4.3.14. Andamento dei valori di superficie fogliare di *Posidonia oceanica* nelle diverse stazioni di campionamento.

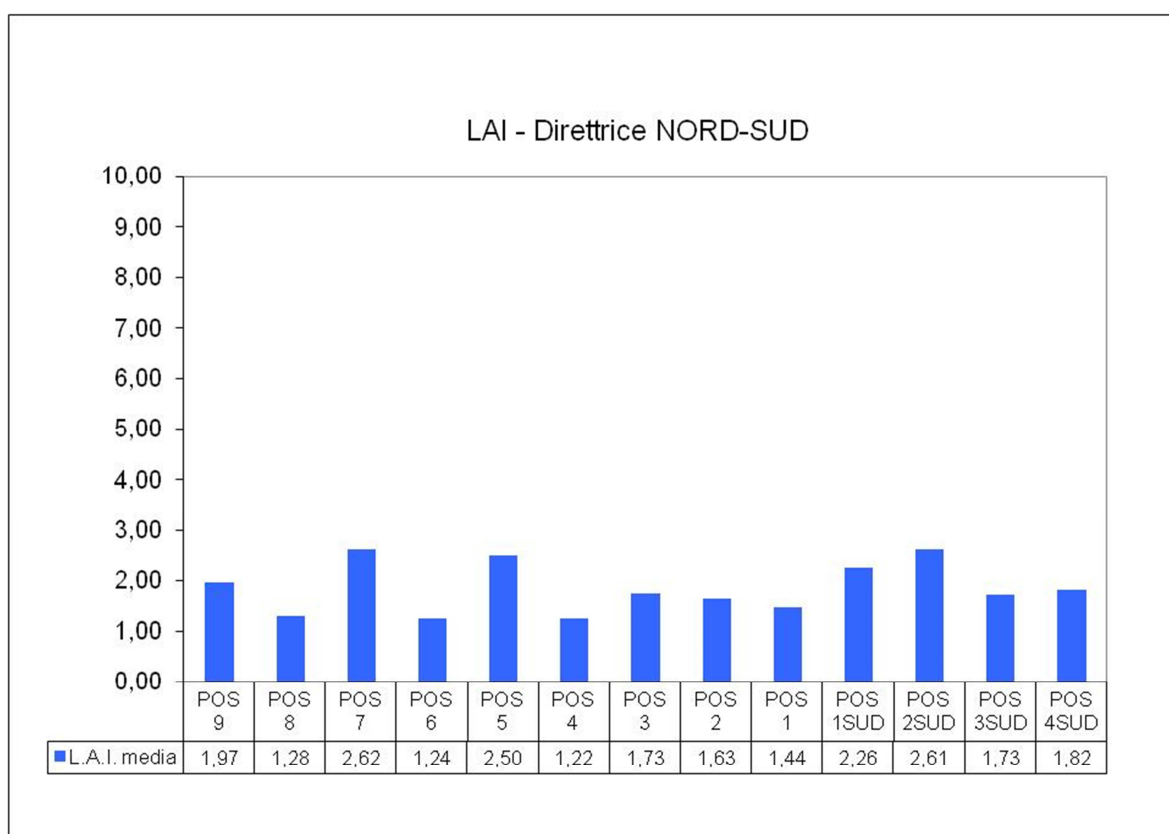


Fig. 1.4.3.15. Andamento dei valori di L.A.I. di *Posidonia oceanica* nelle diverse stazioni di campionamento.

Dalle osservazioni di laboratorio risulta che gli apici rotti sono stati generati nella quasi totalità dei casi dall'azione dirompente delle onde che si fanno particolarmente sentire alle minori profondità di campionamento. Le stazioni posizionate più in profondità (POS 5, POS 8 e POS 4 Sud), in effetti, sono quelle che mostrano i valori più bassi di coefficiente A (Fig. 1.4.3.16).

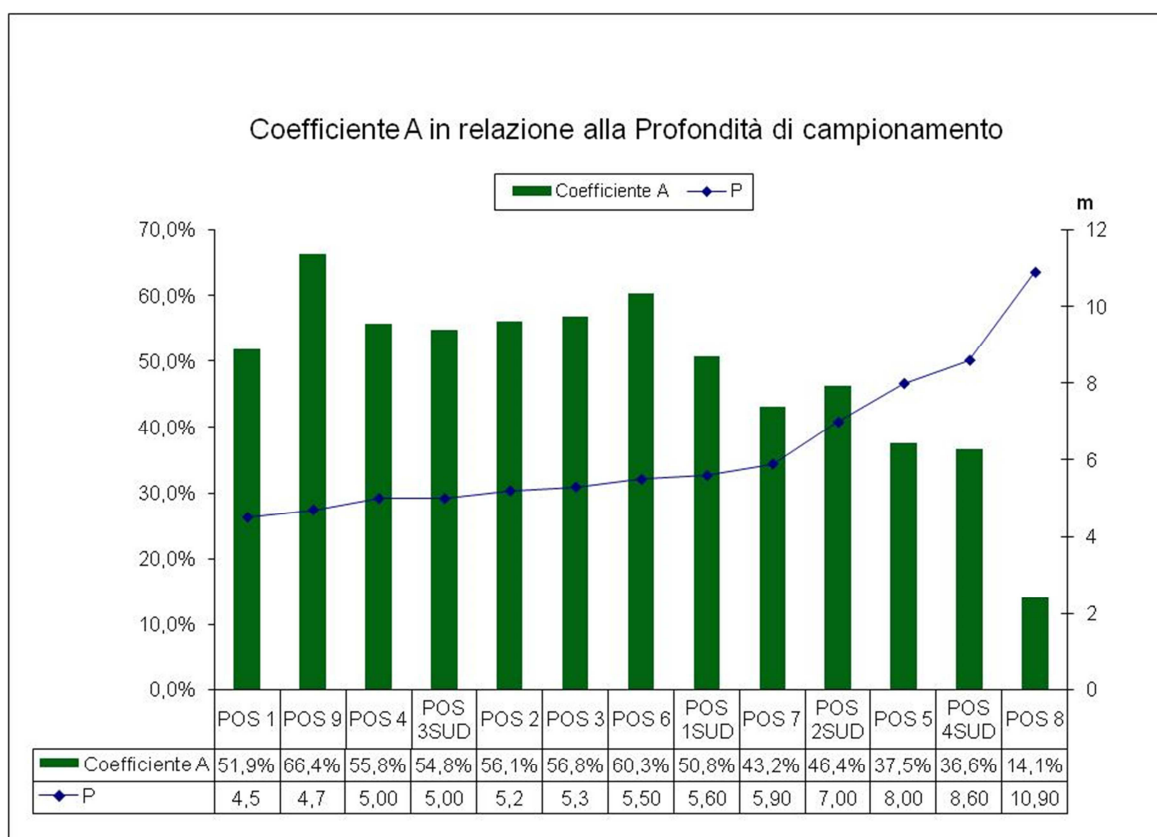


Fig. 1.4.3.16. Andamento dei valori di Coefficiente A di *Posidonia oceanica* in relazione alle diverse profondità di campionamento.

Le differenze nei valori di lunghezza e larghezza delle foglie possono dipendere, oltre che dalla profondità, anche dal substrato di impianto (Fig. 1.4.3.17).

Come già osservato in altre località, a parità di profondità, le piante insediate su roccia mostrano una naturale tendenza ad avere foglie più corte e strette rispetto a quelle insediate su sabbia o matte. Questa tendenza è ben rappresentata e trova conferma nell'andamento della superficie fogliare messa in relazione con il substrato di insediamento preso le stazioni campionate (Fig. 1.4.3.18).

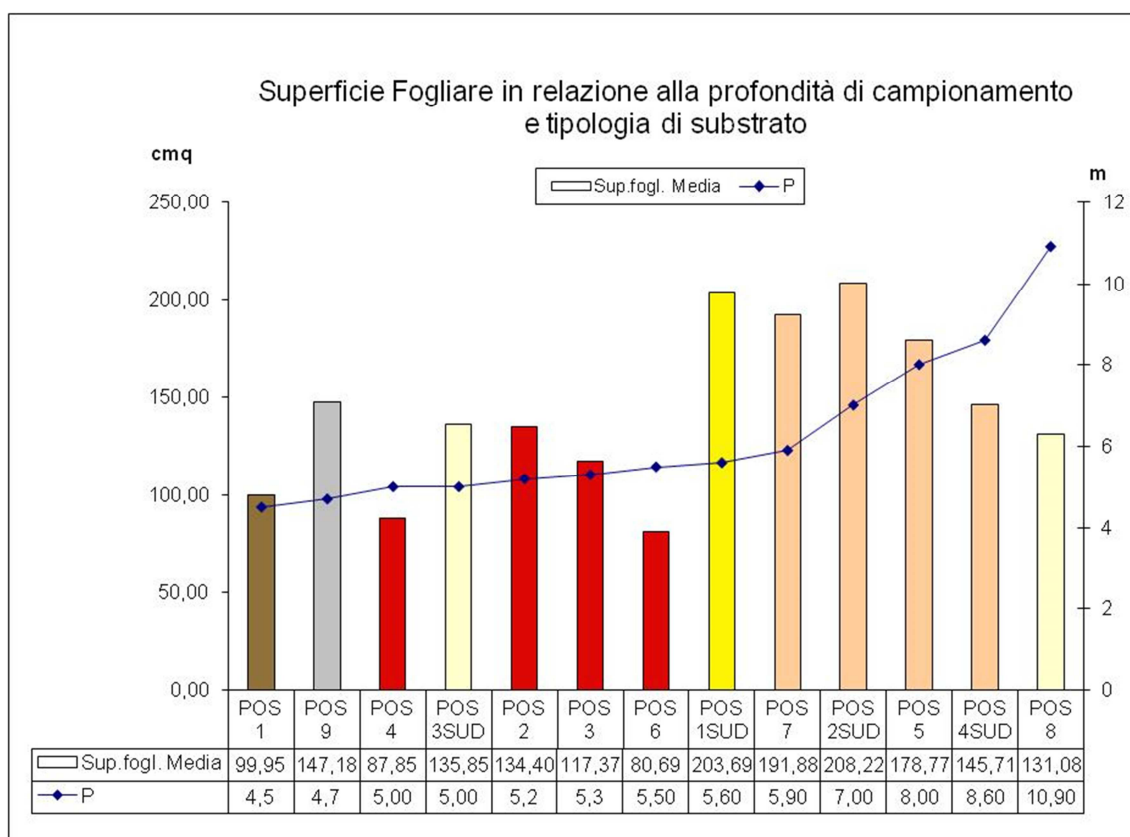


Fig. 1.4.3.17. Andamento dei valori di superficie fogliare di *Posidonia oceanica* nelle diverse stazioni di campionamento in relazione alla profondità ed alla tipologia di substrato.

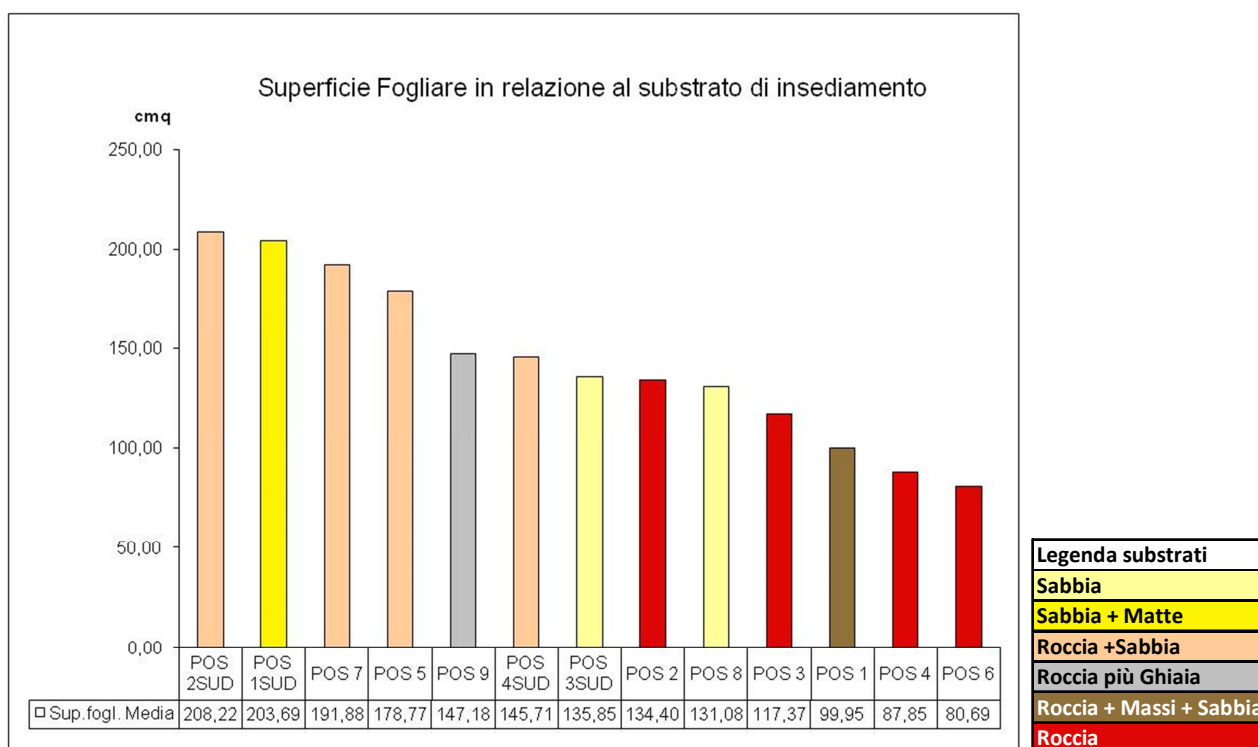


Fig. 1.4.3.18. Andamento dei valori di superficie fogliare di *Posidonia oceanica* nelle diverse stazioni di campionamento in relazione alla tipologia di substrato.

Al fine di ottenere una ulteriore valutazione dello stato di qualità di *Posidonia oceanica* è stato calcolato l'indice PREI, elaborando i campioni prelevati nell'area portuale presso la stazione D1 nell'area di P.ta Mattonara ed in altre 6 stazioni posizionate a distanza crescente dal Porto di Civitavecchia, 3 stazioni in direzione Nord all'interno del SIC 6000005 (POS 1, POS 4, POS 7) e 3 stazioni in direzione SUD all'interno del SIC 6000006 (POS 1Sud, POS R2, POS 3Sud).

Il risultato dell'indagine mostra valori dell'indice che configurano uno stato di qualità MODERATO per quasi tutte le stazioni ad eccezione proprio della stazione più vicina al Porto di Civitavecchia dove lo stato di qualità è risultato BUONO anche se molto vicino al limite di classe inferiore (Fig. 1.4.3.19 e Tab. 1.4.3.8).

Tale risultato è legato alla maggior densità della pianta misurata presso le stazioni molto vicine al porto, probabilmente beneficiando di un ridotto stress idrodinamico dovuto al ridosso che offrono le strutture portuali dalle mareggiate provenienti dal secondo e terzo quadrante.

Fig. 1.4.3.19. Andamento dei valori di EQR nelle diverse stazioni di campionamento.

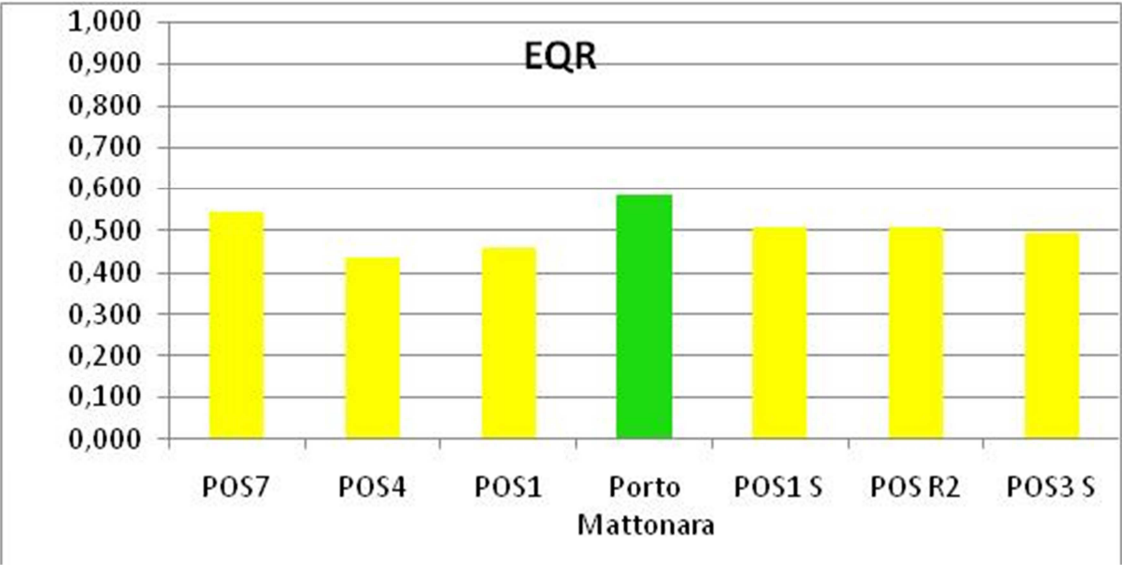


Tabella 1.4.3.8. Valore dell'indice di qualità ambientale PREI.

Località	STAZ	descrittori	valori	PREI RC BIPO			
				N	EQR'	EQR	Class EQR
SIC Nord IT6000005	D1 Mattonara 5 m	Densità (fascio/m2)	530,55	0,89	0,534	0,585	BUONO
		Superficie fogliare (cm2/fascio)	129,36	0,42			
		Prof limite inf (m)	18	0,12			
		Biomassa epifiti (E) (mg/fascio)	0,05754	0,45			
		Biomassa Fogliare (L) (mg/fascio)	0,57076				
		Tipo di limite (λ) (*)	-3				
SIC Nord IT6000005	POS1 5 m	Densità (fascio/m2)	288,44	0,48	0,394	0,458	MODERATO
		Superficie fogliare (cm2/fascio)	99,94	0,32			
		Prof limite inf (m)	18	0,12			
		Biomassa epifiti (E) (mg/fascio)	0,0395	0,46			
		Biomassa Fogliare (L) (mg/fascio)	0,4851944				
		Tipo di limite (λ) (*)	-3				
SIC Nord IT6000005	POS4 5 m	Densità (fascio/m2)	278,67	0,47	0,373	0,439	MODERATO
		Superficie fogliare (cm2/fascio)	87,5	0,28			
		Prof limite inf (m)	18	0,12			
		Biomassa epifiti (E) (mg/fascio)	0,0537667	0,44			
		Biomassa Fogliare (L) (mg/fascio)	0,4570667				
		Tipo di limite (λ) (*)	-3				
SIC Nord IT6000005	POS7 6 m	Densità (fascio/m2)	272,89	0,46	0,490	0,545	MODERATO
		Superficie fogliare (cm2/fascio)	191,88	0,62			
		Prof limite inf (m)	20	0,19			
		Biomassa epifiti (E) (mg/fascio)	0,1122722	0,45			
		Biomassa Fogliare (L) (mg/fascio)	1,0794111				
		Tipo di limite (λ) (*)	-3				
SIC Sud IT6000006	POS1 S 5,6 m	Densità (fascio/m2)	221,78	0,37	0,448	0,508	MODERATO
		Superficie fogliare (cm2/fascio)	203,69	0,66			
		Prof limite inf (m)	18	0,12			
		Biomassa epifiti (E) (mg/fascio)	0,1385222	0,43			
		Biomassa Fogliare (L) (mg/fascio)	0,94055				
		Tipo di limite (λ) (*)	-3				
SIC Sud IT6000006	POS R2 8 m	Densità (fascio/m2)	463	0,77	0,448	0,507	MODERATO
		Superficie fogliare (cm2/fascio)	91,23	0,29			
		Prof limite inf (m)	18	0,12			
		Biomassa epifiti (E) (mg/fascio)	0,16	0,38			
		Biomassa Fogliare (L) (mg/fascio)	0,69				
		Tipo di limite (λ) (*)	-3				
SIC Sud IT6000006	POS3 S 5 m	Densità (fascio/m2)	254,22	0,42	0,436	0,496	MODERATO
		Superficie fogliare (cm2/fascio)	135,85	0,44			
		Prof limite inf (m)	20	0,19			
		Biomassa epifiti (E) (mg/fascio)	0,0503333	0,47			
		Biomassa Fogliare (L) (mg/fascio)	0,8474944				
		Tipo di limite (λ) (*)	-3				

Specie aliene e competizione con *Posidonia oceanica*

L'introduzione di specie aliene (cioè, specie non originarie del luogo in cui vengono ritrovate), il loro insediamento e la loro successiva diffusione hanno conseguenze spesso imprevedibili a livello ambientale e, nel caso in cui esse diventino invasive, possono causare

- sostituzione di specie native
- riduzione della biodiversità
- alterazione del funzionamento degli ecosistemi

Per questo motivo, la Marine Strategy Framework Directive (che si prefigge il raggiungimento di uno stato ambientale soddisfacente dei mari europei entro il 2020) ha incluso, fra gli altri Descrittori, la presenza di specie aliene (con la denominazione di “specie non indigene”) come Descrittore 2 e stabilendo che: “Le specie non-indigene introdotte dalle attività umane devono essere a livelli tali da non alterare negativamente gli ecosistemi”. Pertanto, raccomanda

- di seguire gli andamenti spazio-temporali delle abbondanze, specialmente in aree dove insistono strutture collegate ad attività potenzialmente responsabili della loro introduzione (porti, impianti di acquacoltura, ecc.)
- di calcolare l'andamento del rapporto tra le specie invasive non-indigene e quelle autoctone, specialmente nei gruppi tassonomici ben studiati, tra cui quello delle macroalghe, poiché tale rapporto può fornire un indice del cambiamento della composizione specifica di un ecosistema
- seguire l'impatto delle specie invasive a livello di specie, habitat e ecosistema, quando possibile

Danni alle praterie di fanerogame causate da specie aliene sono stati documentati da moltissimi studi scientifici oggetto di pubblicazioni. In particolare, quelli causati dalle macroalghe aliene appartenenti al genere *Caulerpa*, nella fattispecie *Caulerpa taxifolia* e *Caulerpa cylindracea* si esplicano direttamente e/o indirettamente; nel primo caso, con produzione di sostanze bioattive, nel secondo, modificando l'ambiente, cioè, riducendo la luce disponibile o cambiando le caratteristiche chimico-fisiche del substrato, rendendolo non idoneo alla vita delle piante.

Una prateria di *Posidonia oceanica*, rada e già con segni di erosione dei margini, è più facilmente soggetta all'impatto negativo di eventuali macroalghe aliene che possono accelerarne la regressione fino alla totale scomparsa.

L'individuazione di macroalghe aliene e lo studio dell'andamento della loro diffusione nelle aree obiettivo dell'indagine di cui trattasi consentirebbero di stabilire se tali specie possono essere una causa o una concausa di un'eventuale regressione delle praterie di *Posidonia oceanica*.

I campioni sono stati processati presso la sede dell'IAMC U.O. di Taranto.

Ciascun campione conteneva un numero variabile (da 10 a 15) di piante di *Posidonia oceanica* (L.) Delile.

Si riporta di seguito l'elenco dei campioni con le relative specie aliene rinvenute:

Stazione POS 4, data di campionamento 12/02/2015:

Asparagopsis taxiformis (Delile) Trevisan de Saint-Léon tetrasporofito epifita su di un solo rizoma

Stazione POS 1, data di campionamento 13/02/2015:

Nessuna specie aliena

Stazione POS 7, data di campionamento 11/03/2015:

Asparagopsis taxiformis tetrasporofito epifita su di un solo rizoma

Stazione POS 3 SUD, data di campionamento 19/03/2015:

Nessuna specie aliena

Stazione POS 1 SUD, data di campionamento 13/03/2015:

Nessuna specie aliena

Si segnala, tuttavia, la presenza di *Polysiphonia perforans* Cormaci M., Furnari G., Pizzuto F. & Serio D., tetrasporofito, epifita su *Peyssonnelia bornetii* Boudouresque et Denizot, peraltro già rinvenuta nel Tirreno lungo le coste toscane:

- Piazzì L., Pardi G., Cecchi E., Cinelli F. – 2009- I popolamenti macroalgali di Calafuria (Livorno). Atti Soc. tosc. Sci. Nat., Mem., Serie B, 116, pagg. 81-90, tabb. 2.

- Rindi F., Sartoni G., Cinelli F. -2002- A floristic account of the marine benthic algae of Tuscany (Wester Mediterranean Sea). Nova Hedwigia, 74 (1-2): 201-250.

Si osserva che le specie di macroalghe aliene nei campioni analizzati sono decisamente scarse. Cosa che fa presupporre che non ci sia in atto una invasione di specie aliene che interferisce direttamente con le piante di *Posidonia oceanica*.

Tuttavia, vista la presenza conclamata ed abbondante della specie rinvenuta nei campioni (*Asparagopsis taxiformis*) e di *Caulerpa cylindracea* in tutta l'area di indagine si ritiene opportuno continuare a monitorare i livelli di interferenza di tali specie nei confronti della distribuzione ed abbondanza di *P. oceanica*.

- **Valutazione presenza di *Pinna nobilis***

Pinna nobilis (Linnaeus, 1758) è tra i più grandi Molluschi Bivalvi potendo superare il metro di lunghezza massima. Specie endemica del Mar Mediterraneo è di grande interesse conservazionistico e può essere considerato come una specie bandiera.

Pinna nobilis si osserva a profondità comprese tra 0,5 e 60 m in fondi mobili caratterizzati principalmente da praterie di *Posidonia*. La sua larva allo stadio veliger va alla deriva nella colonna d'acqua prima di insediarsi nel sedimento ed ancorarsi tramite un bisso. Anche se è stato ipotizzato un periodo di 5-10 giorni, poco è noto circa la lunghezza del ciclo di vita larvale di *P. nobilis*.

Come risultato del declino della popolazione associato all'attività umana (principalmente la raccolta del bisso utilizzato per produrre la cosiddetta " seta di mare " e la raccolta della sua conchiglia a scopo ornamentale ed in secondo luogo l'utilizzo alimentare del muscolo abducente in alcune regioni del Mediterraneo e la raccolta delle piccole perle, con scarso valore commerciale, che è in grado di produrre), *P. nobilis* è stata inclusa nella lista delle specie minacciate del Mediterraneo dal 1995 (allegato IV della Direttiva Habitat e L'allegato II della Convenzione di Barcellona).

Nel corso delle indagini effettuate mediante ROV nel SIC IT6000005 sono stati osservati 9 individui di *Pinna nobilis*, mentre nel SIC IT6000006 ne sono stati individuati 23 (Foto. 1.4.3.8).

Altri 14 individui (nel SIC IT6000005) + 10 (nel SIC IT6000006) sono invece stati osservati lungo i Belt Transect (BT) effettuati in immersione e nelle stazioni di campionamento di *Posidonia*.

Complessivamente in tutta l'area effettivamente indagata sono quindi stati osservati 56 individui di *P. nobilis*.

Per una stima della densità abbiamo considerato esclusivamente i 14 individui rilevati nei 2 SIC dagli operatori subacquei presso le 18 stazioni di campionamento dedicate allo scopo (Belt

Transect). Dunque, all'interno di una superficie totale esplorata di 4.320 m^2 ($= 240 \text{ m}^2 \times 18$ stazioni BT) la densità rilevata è stata di circa 1 individuo ogni 300 m^2 ($4.320 \text{ m}^2 / 14$ individui). Riportando il dato per ettaro di substrato il risultato è di circa 33 ind/ha, va tuttavia sottolineato come tale stima possa essere ritenuta accurata solo considerando le superfici occupate dall'habitat che abbiamo definito "*Posidonia oceanica* su sabbia e/o matte (copertura $30\% < Po < 80\%$)", particolarmente adatto all'insediamento della specie che non è in grado di colonizzare il substrato roccioso e raramente si osserva lontano dalle aree vegetate.



Foto 1.4.3.8. Uno degli esemplari di *Pinna nobilis* osservati durante i rilevamenti ROV.

- **Distribuzione e stato di qualità del “coralligeno” (Cod. Habitat 1170*)**

I popolamenti coralligeni studiati sono risultati caratterizzati principalmente da taxa algali mentre gli animali hanno mostrato coperture mediamente inferiori al 20%.

I taxa/gruppi dominanti sono risultati le corallinacee incrostanti, la *Peyssonnelia* spp e il feltro algale. Le alghe erette sono mediamente poco abbondanti, mentre l'alga bruna incrostante *Zanardinia typus* è risultata ben rappresentata nella stazione 2 sud..

Tra gli animali risultano maggiormente importanti le spugne, mentre sono poco abbondanti i briozoi e gli idrozoi. Localmente sono abbondanti la madrepora *Leptosammia pruvotii* (stazione COR 7) e il *Parazoanthus axinellae* (stazioni COR 5sud e COR 6sud). Tra i gorgoniacei sono risultati presenti *Eunicella cavolinii*, *Eunicella singularis*, *Letogorgia sarmentosa* e *Paramuricea clavata*, quest'ultima rilevata in COR 7 e COR 6sud. Anche se è nota la presenza di densi popolamenti a *P. clavata* presso la Murata di S. Agostino, nella stazione COR 7 da noi campionata l'abbondanza delle gorgonie è rimasta piuttosto bassa, solo la *E. cavolinii* raggiunge coperture superiori a 2 nelle stazioni più lontane dal porto.

L'analisi multivariata ha mostrato che la struttura dei popolamenti è piuttosto simile tra le differenti stazioni, ad eccezione della stazione 7 (= COR 7). Questo risultato deriva da una significativa minor abbondanza di *Peyssonnelia* ed Alghe erette unita ad una significativa maggior abbondanza di Spugne e Madrepore in questa stazione rispetto a tutte le altre. L'analisi ha messo anche in evidenza una certa segregazione tra le stazioni settentrionali rispetto a quelle meridionali, mentre non sembra evidente un gradiente relativo alla distanza dal porto nella struttura dei popolamenti (Fig. 1.4.3.20).

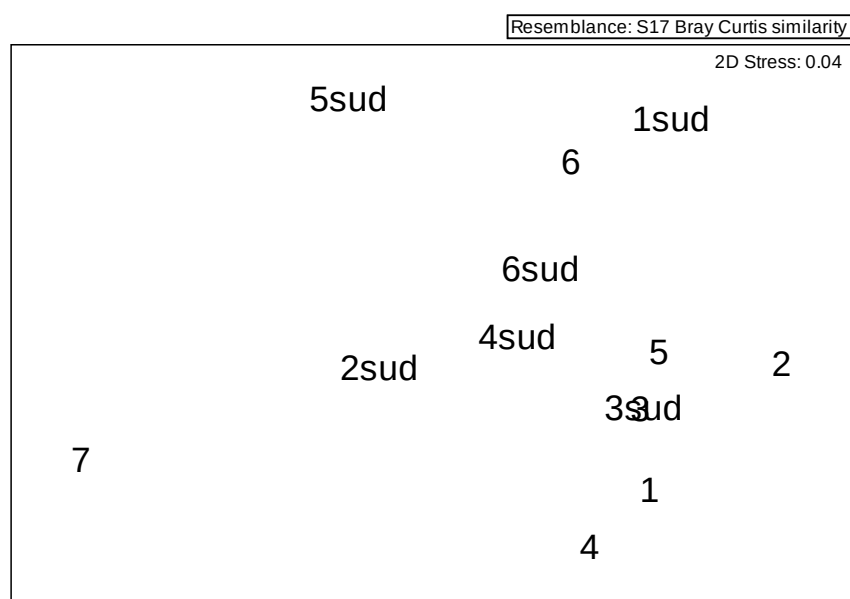


Fig. 1.4.3.20. Ordinamento nMDS delle stazioni di campionamento (n = CORn; nSud = COR nSud).

Nei grafici che seguono vengono riportati i dati delle abbondanze, espresse in ricoprimento percentuale dei principali taxa/gruppi algali e animali (da Fig. 1.4.3.21 a Fig. 1.4.3.24)

TAXA/GRUPPI ALGALI

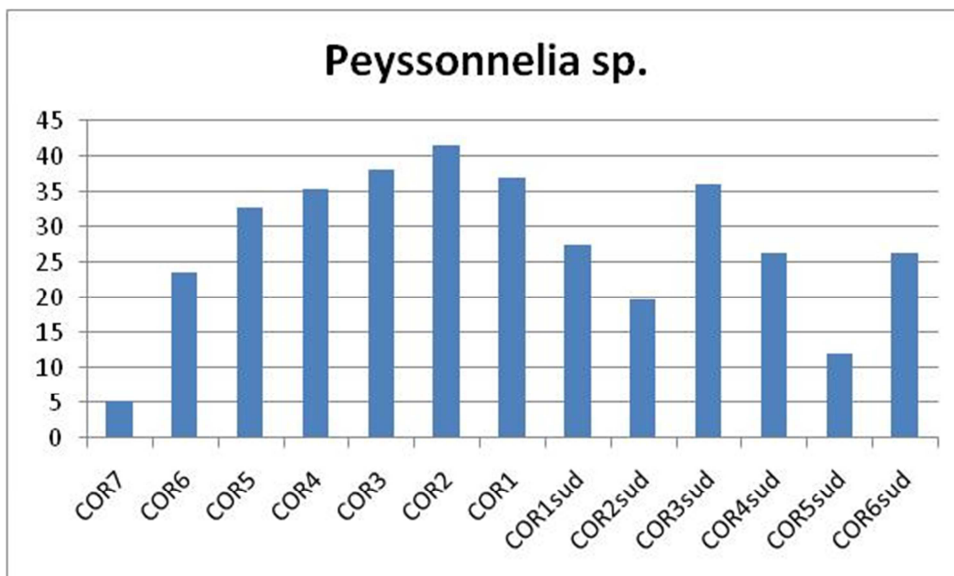
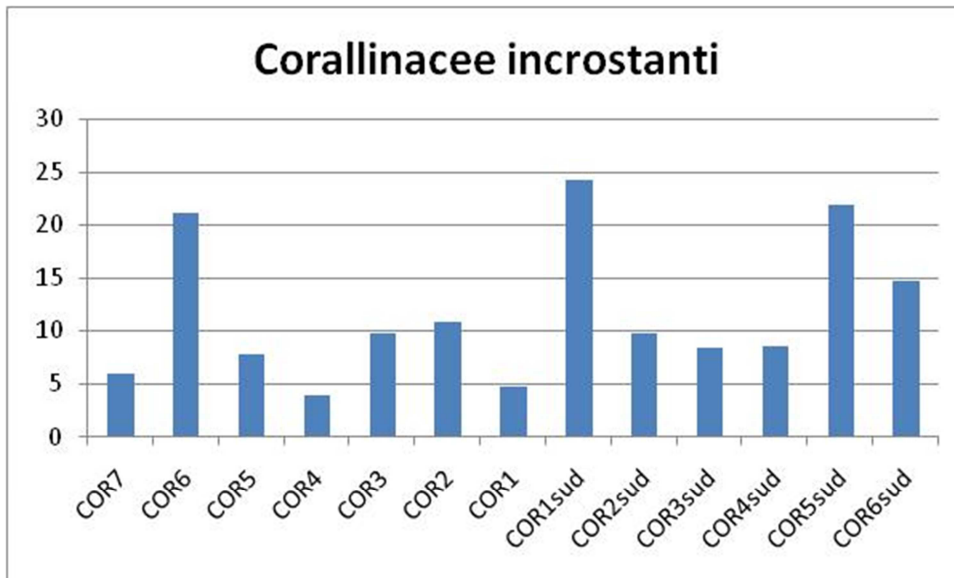


Fig. 1.4.3.21. Ricoprimento percentuale dei principali taxa/gruppi algali.

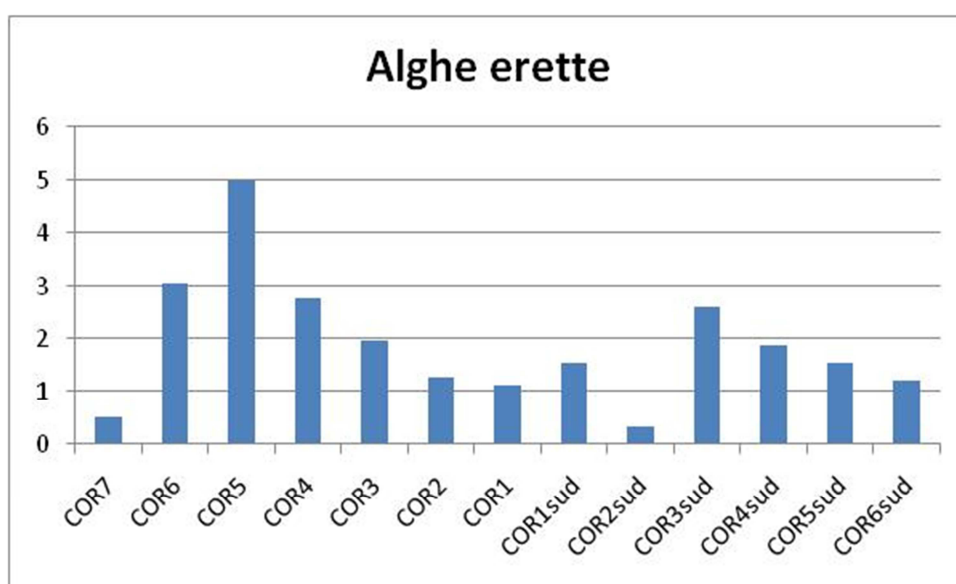
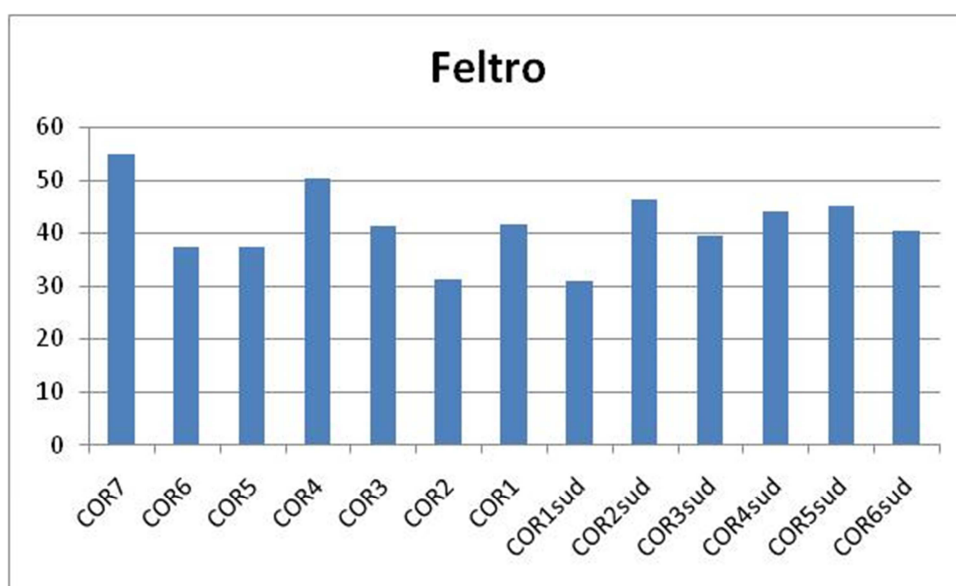


Fig. 1.4.3.22. Ricoprimento percentuale dei principali taxa/gruppi algali.

TAXA/GRUPPI ANIMALI

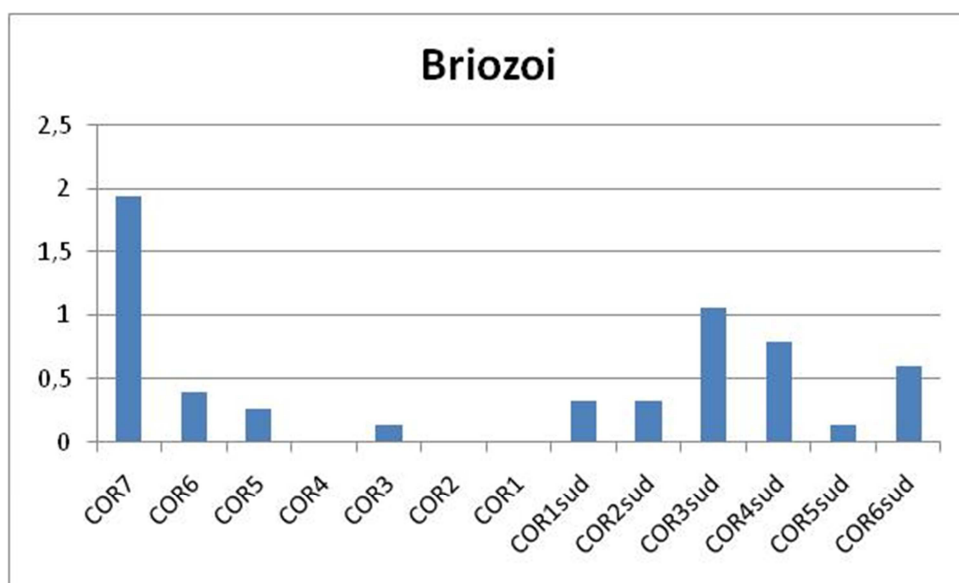
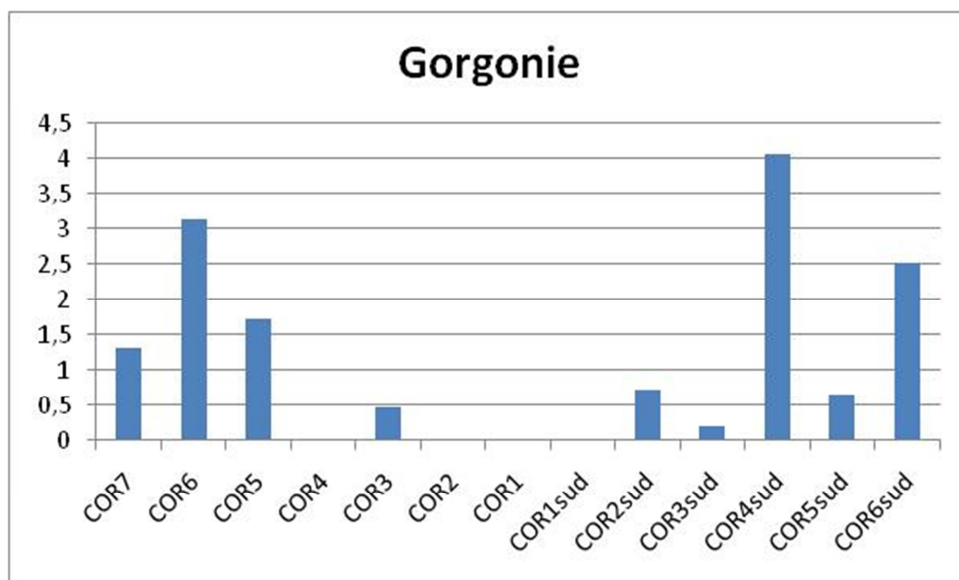


Fig. 1.4.3.23. Ricoprimento percentuale dei principali taxa/gruppi animali.

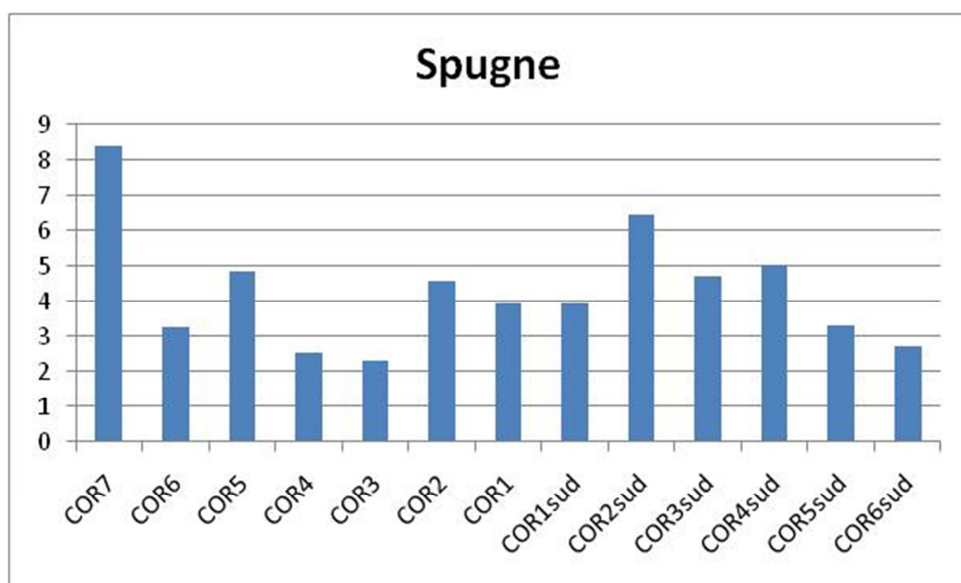
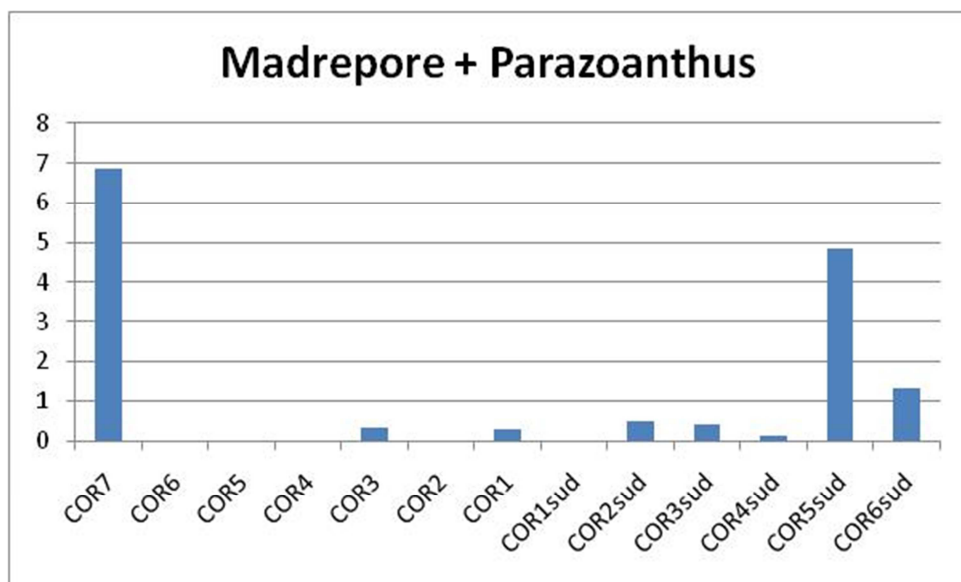
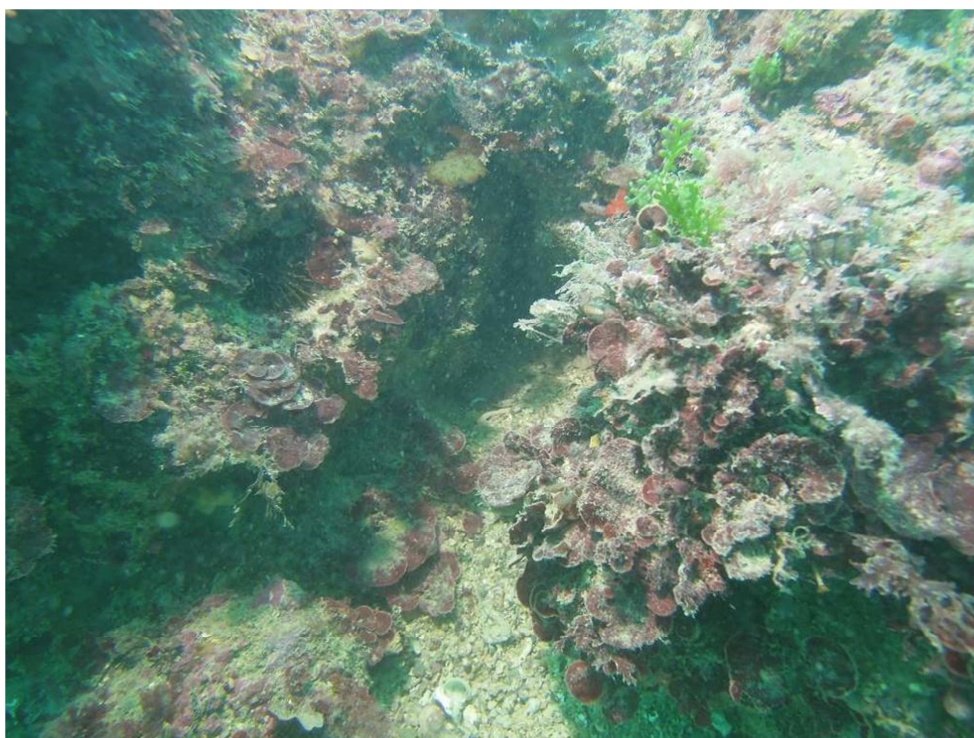
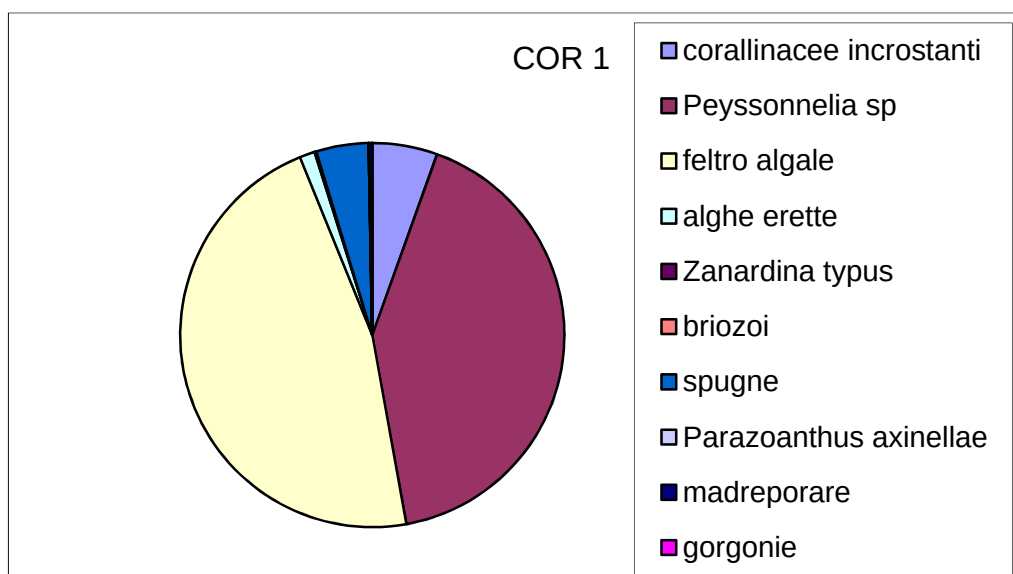


Fig. 1.4.3.24. Ricoprimento percentuale dei principali taxa/gruppi animali.

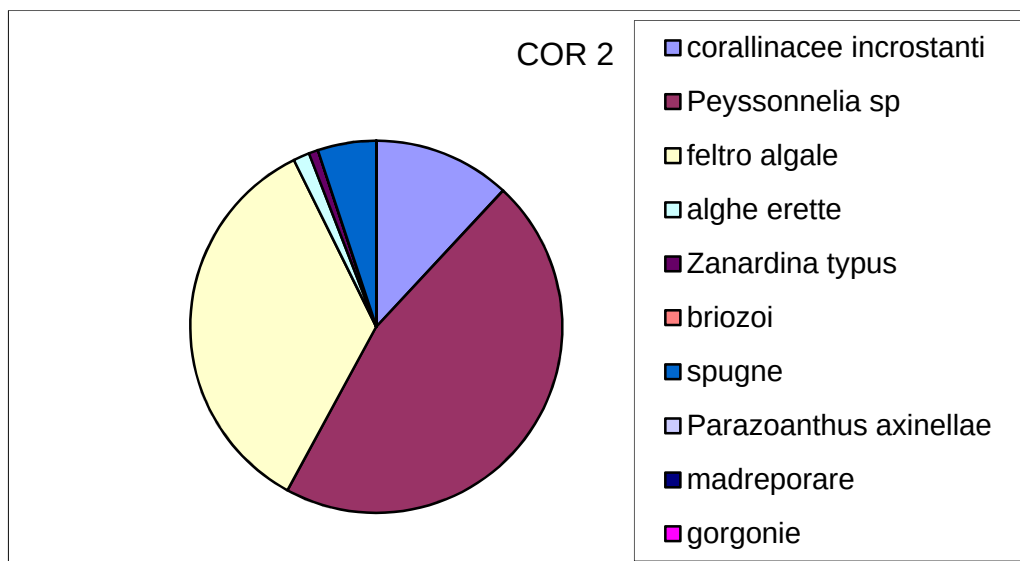
Di seguito vengono fornite le schede relative a ciascuna stazione di campionamento recanti un grafico a torta che rappresenta il contributo di ciascuno dei Taxa individuati alla copertura totale del substrato ed un fotogramma, selezionato tra le diverse repliche di campionamento effettuate, rappresentativo della stazione.

SIC IT6000005

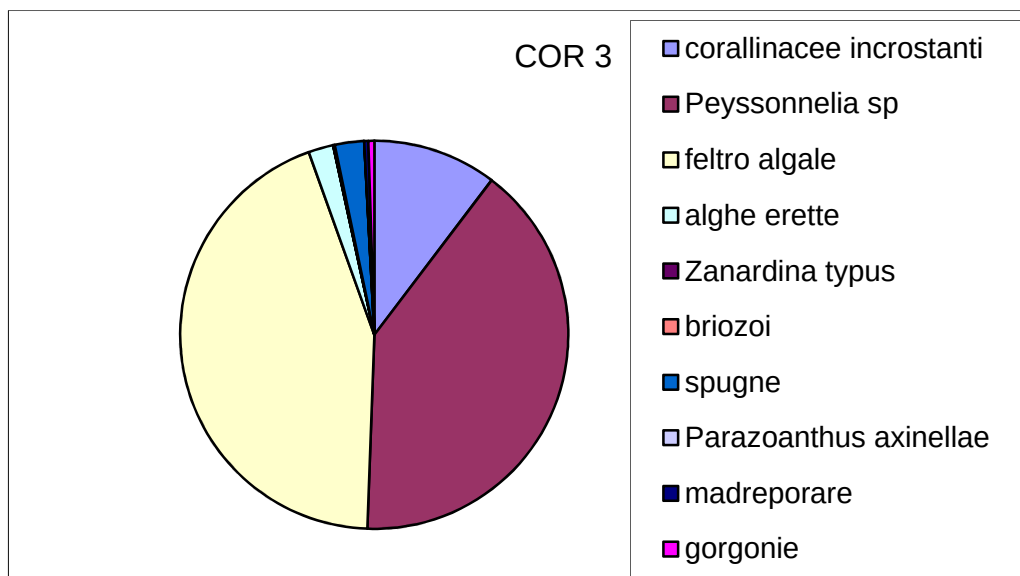
Stazione COR 1



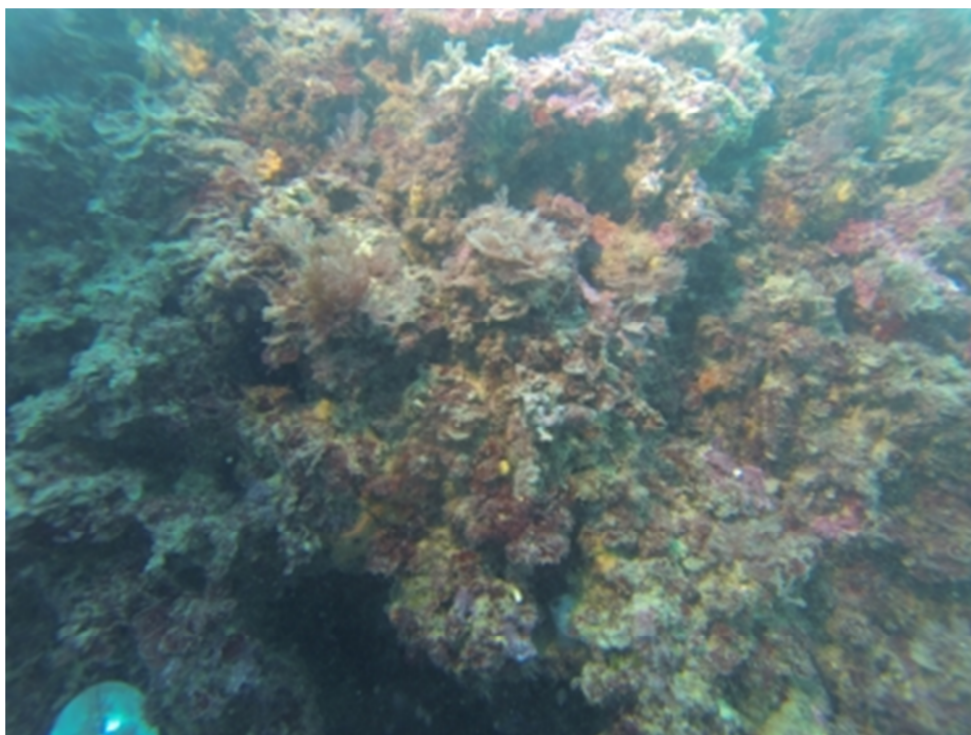
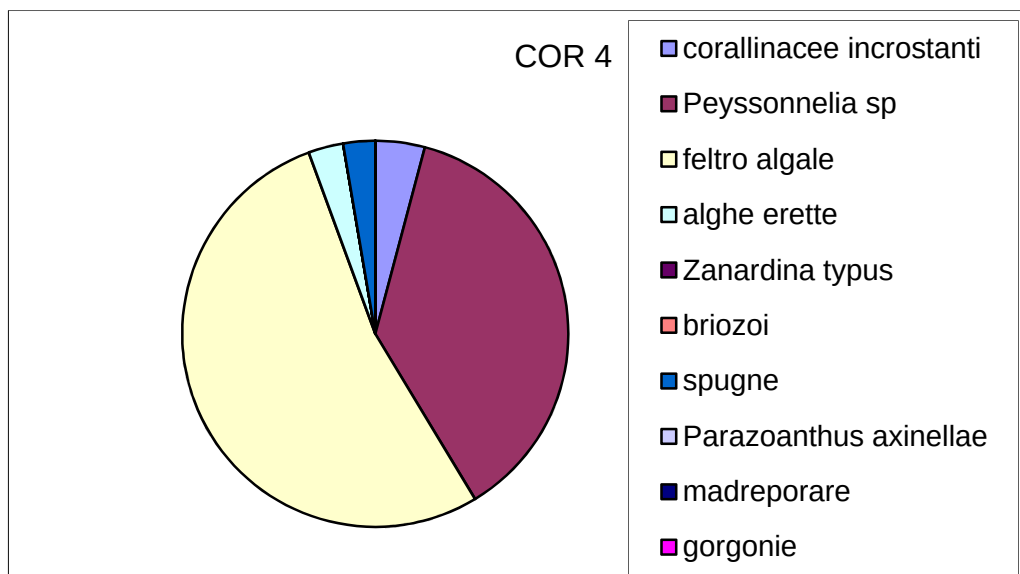
Stazione COR 2



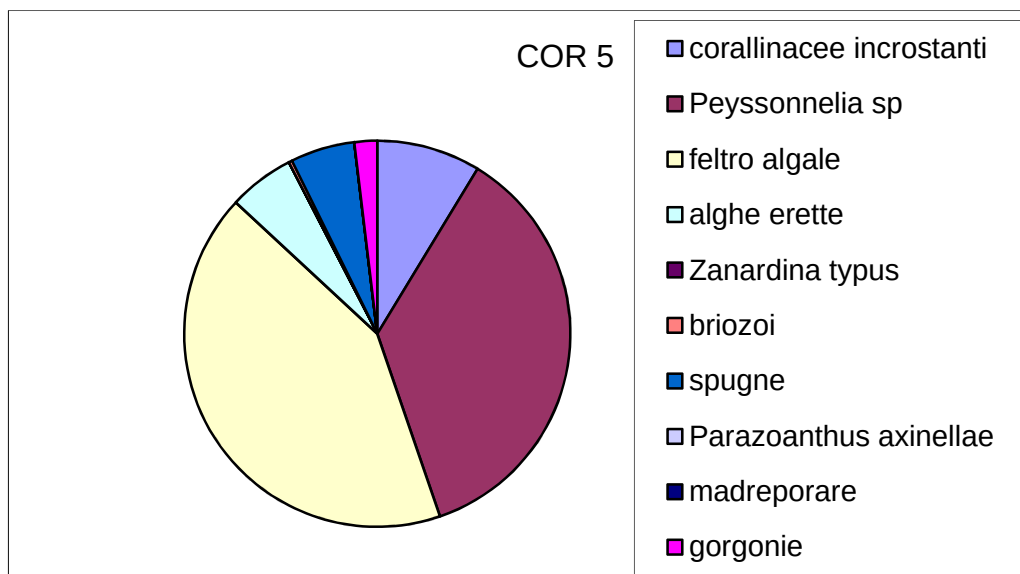
Stazione COR 3



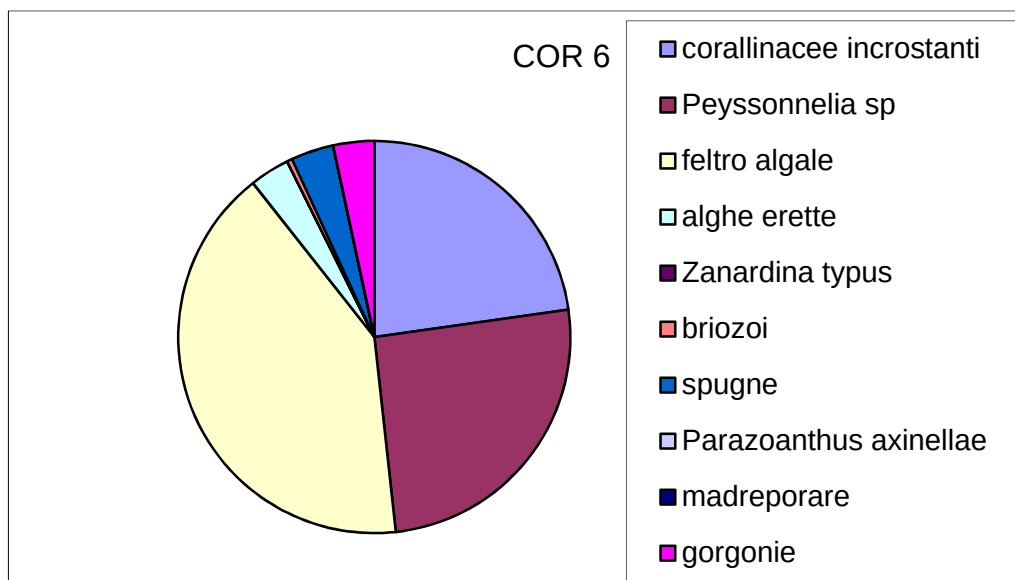
Stazione COR 4



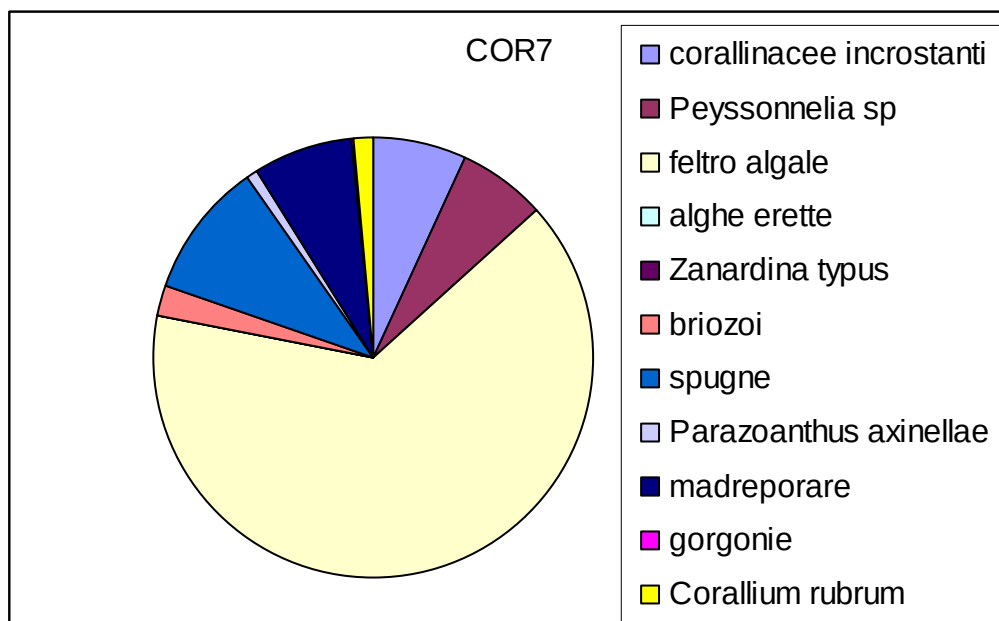
Stazione COR 5



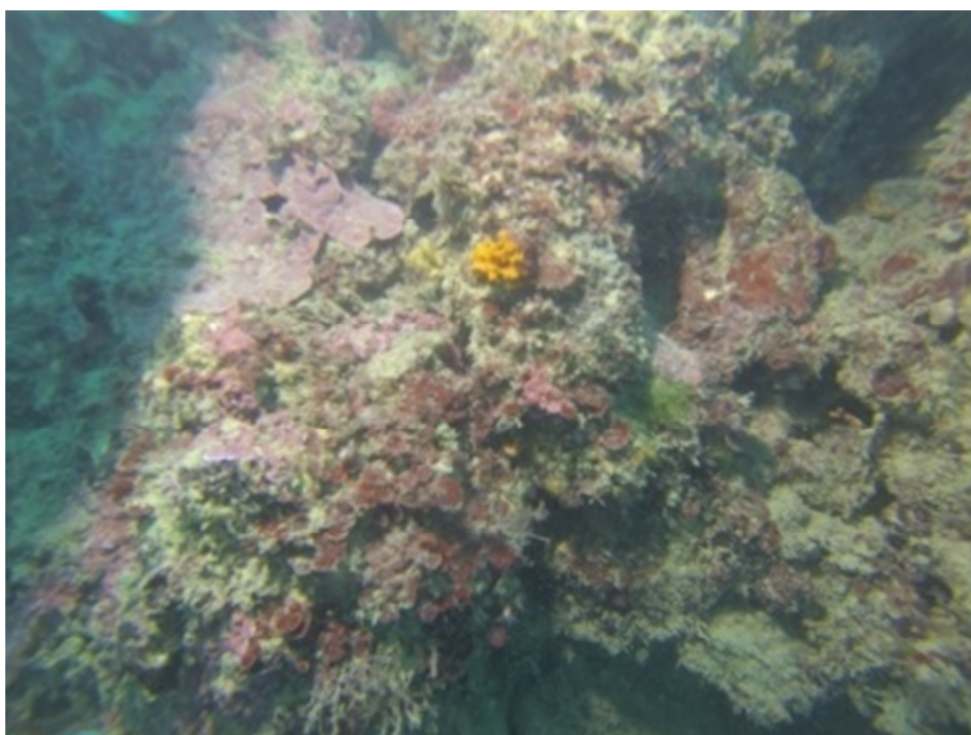
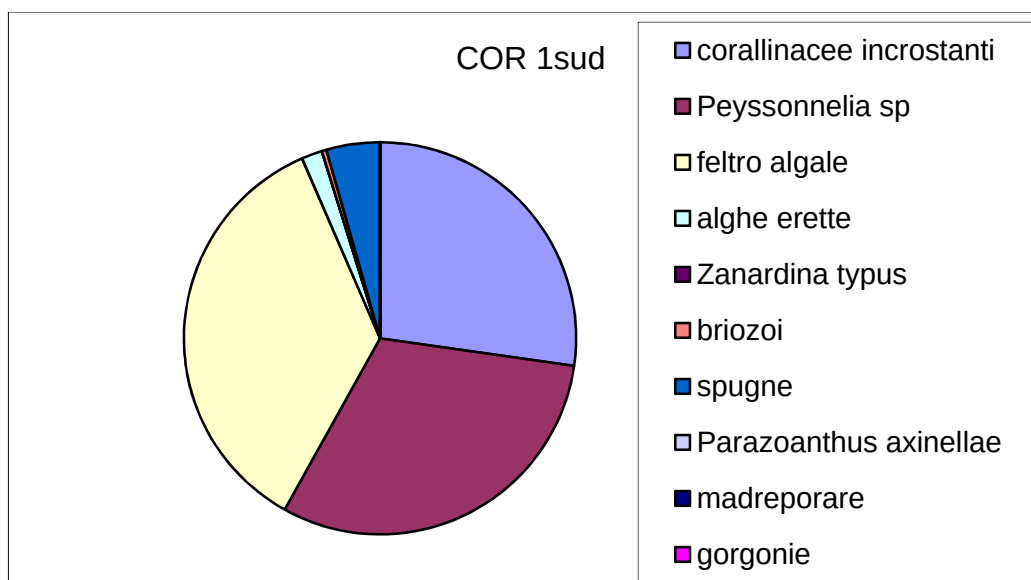
Stazione COR 6



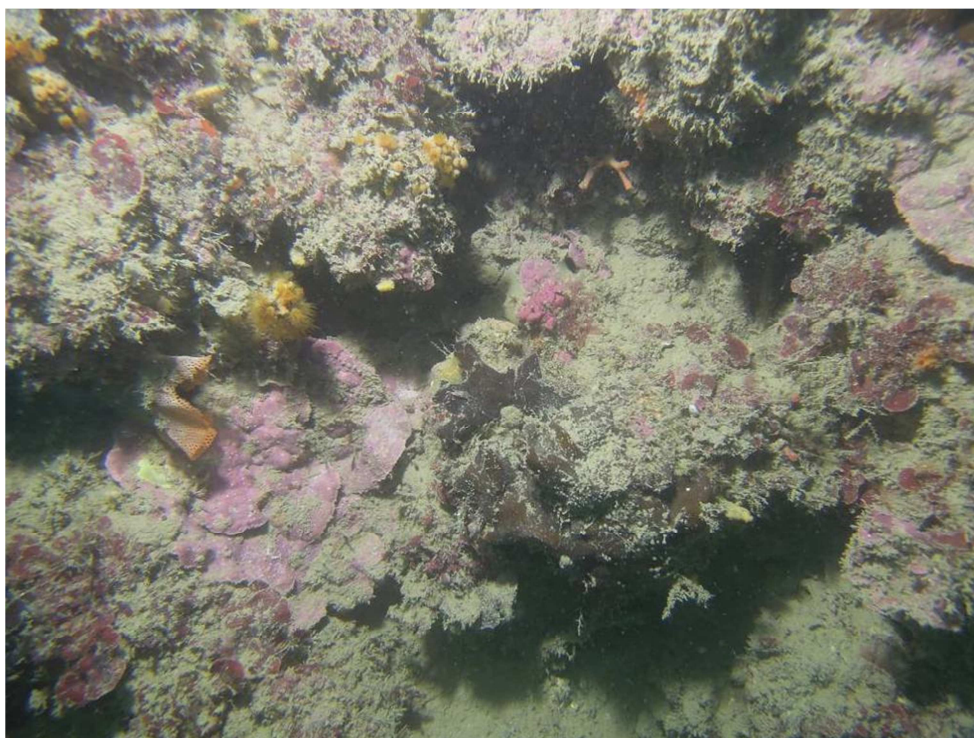
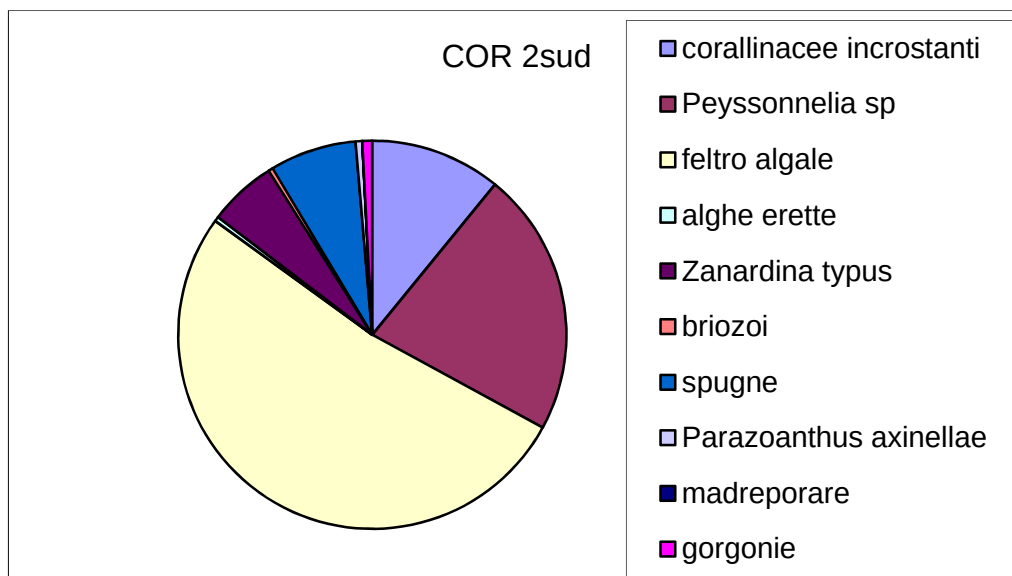
Stazione COR 7 (MURATA S. AGOSTINO)



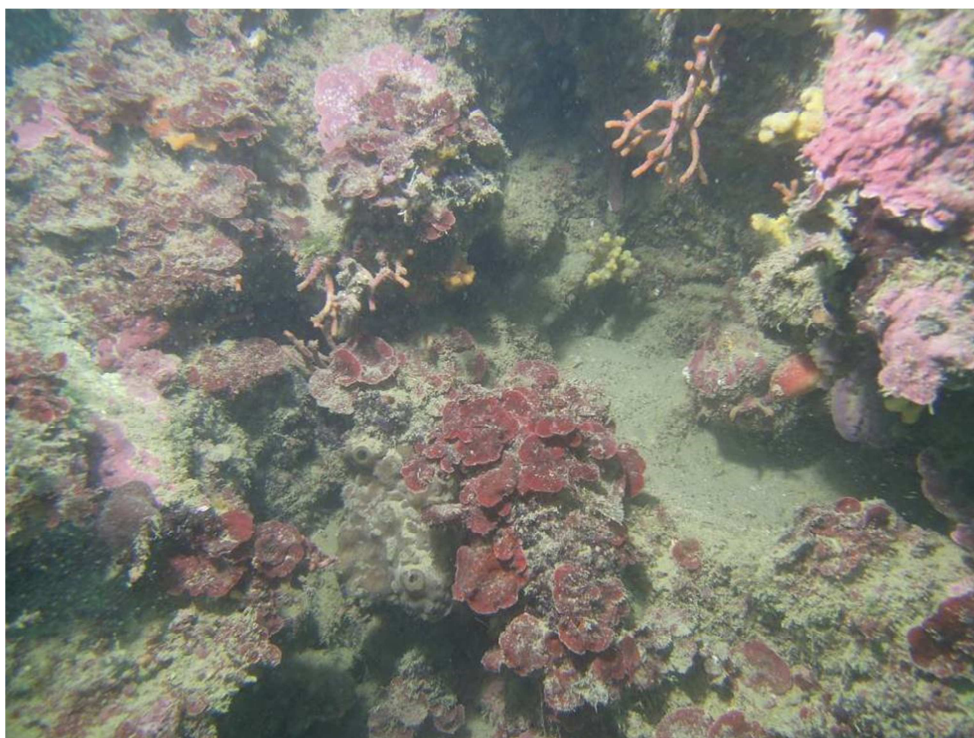
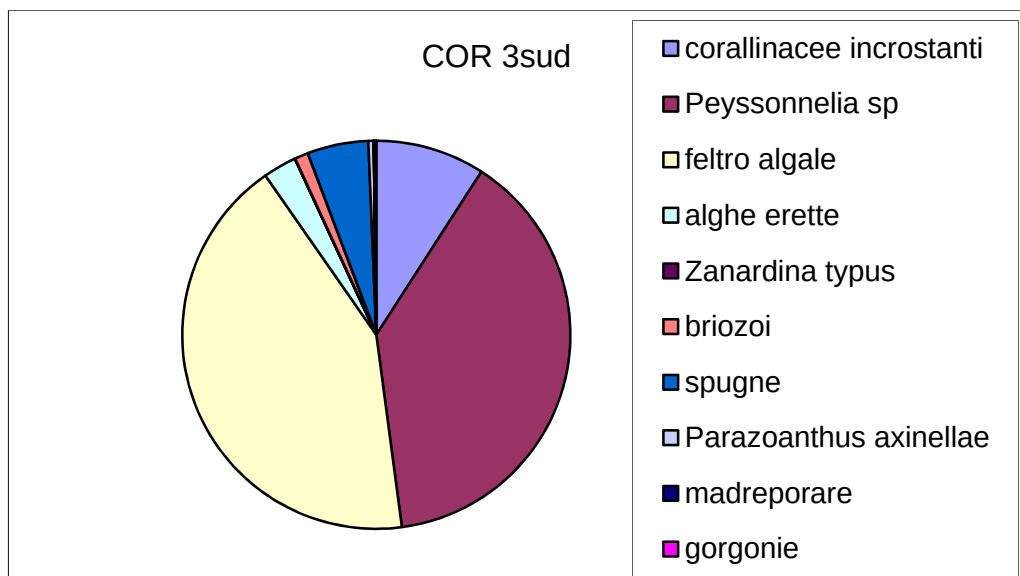
Stazione COR 1sud



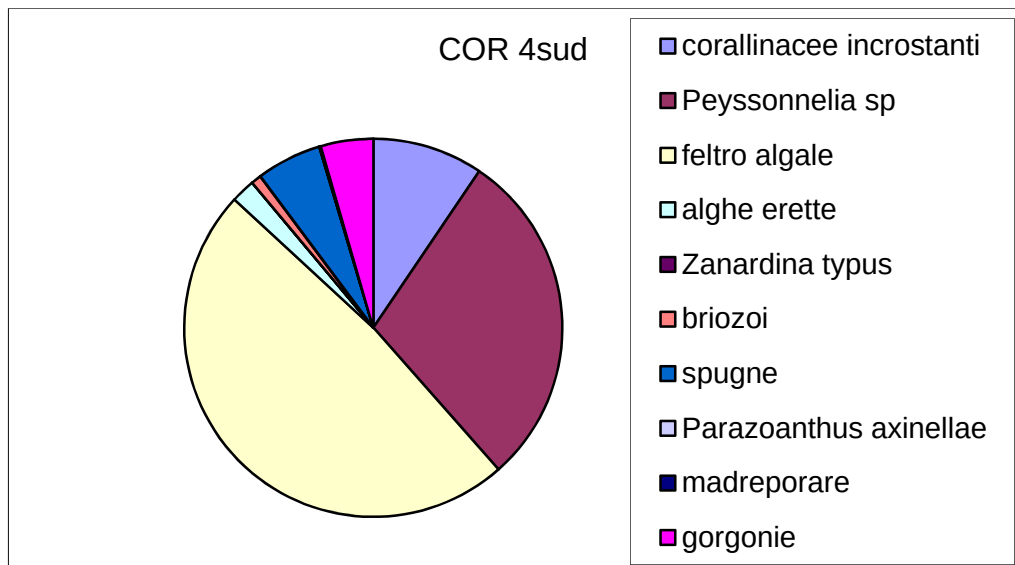
Stazione COR 2sud



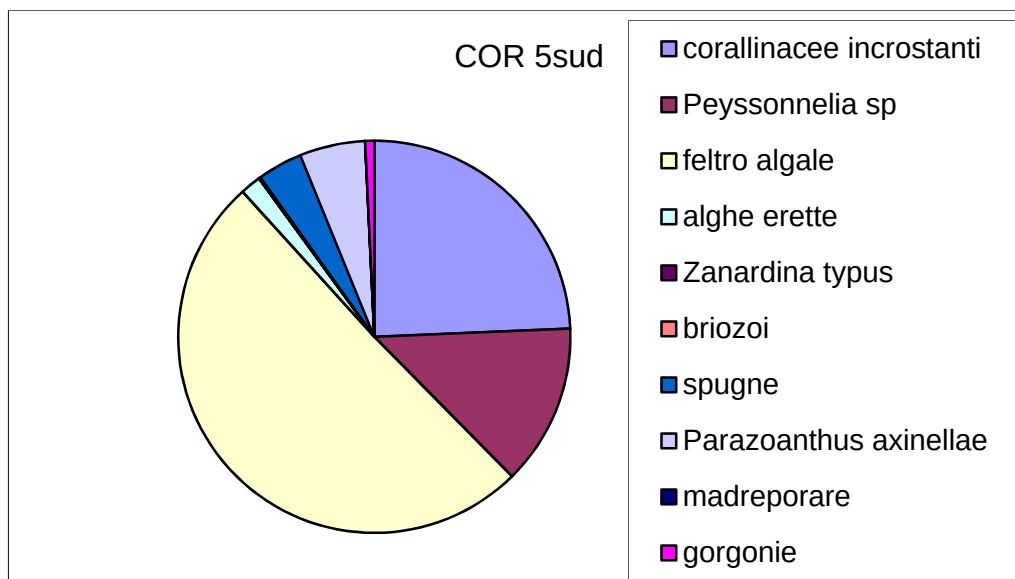
Stazione COR 3sud



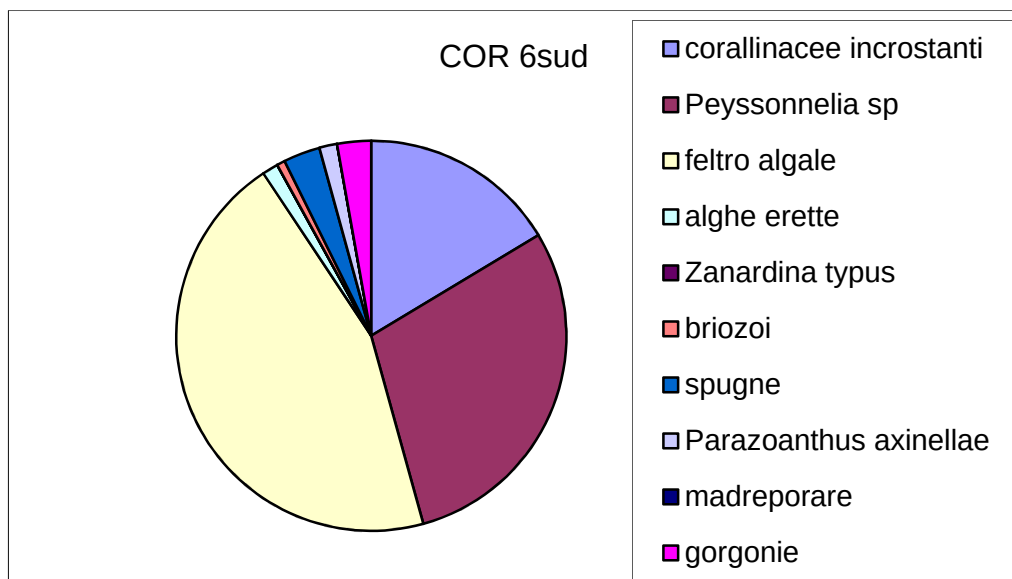
Stazione COR 4sud



Stazione COR 5sud



Stazione COR 6sud



Qualità ecologica

I valori dell'indice variano da 0.33 (stazione COR 4) a 0.48 (stazioni COR 5, COR 4Sud). Le stazioni più vicine al porto, specialmente in direzione Nord, sono risultate in una qualità ecologica povera, mentre le altre ricadono nella categoria sufficiente (Tab. 1.4.3.8. e Fig. 1.4.3.25).

Tabella 1.4.3.8. Valori di EQR e relativa qualità ecologica delle stazioni di campionamento.

Stazione	EQR	Qualità ecologica
COR 7	0.41	sufficiente
COR 6	0.44	sufficiente
COR 5	0.48	sufficiente
COR 4	0.33	povero
COR 3	0.37	povero
COR 2	0.40	povero
COR 1	0.40	povero
COR 1sud	0.37	povero
COR 2sud	0.46	sufficiente
COR 3sud	0.41	sufficiente
COR 4sud	0.48	sufficiente
COR 5sud	0.41	sufficiente
COR 6sud	0.46	sufficiente

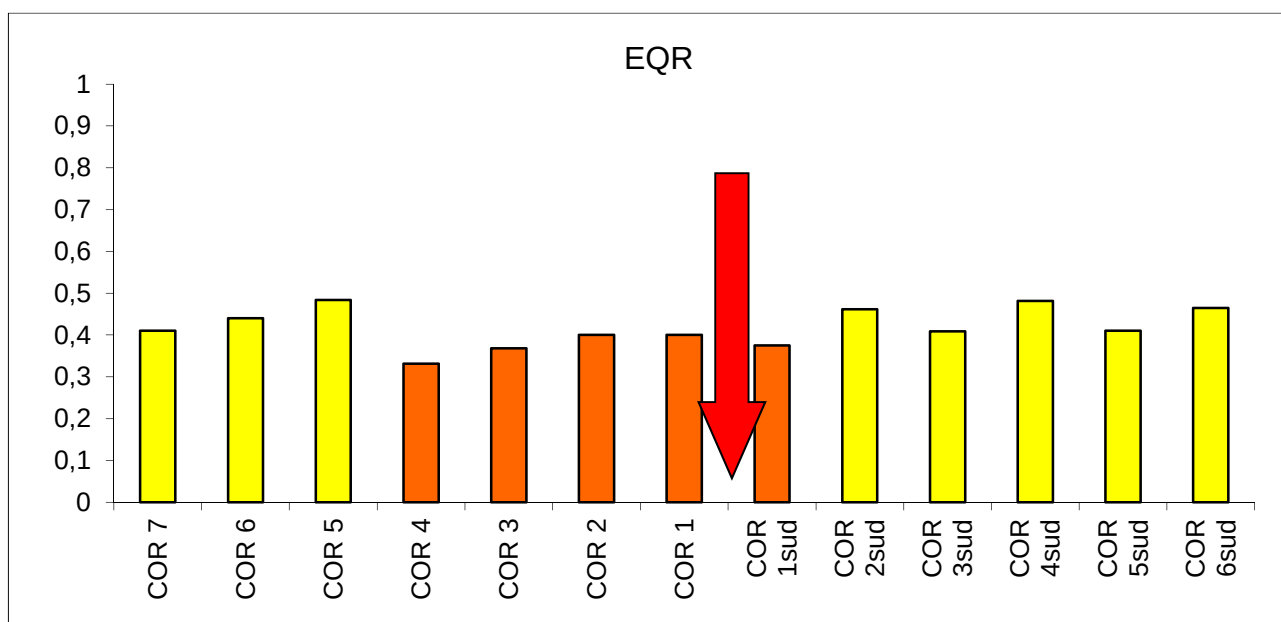


Fig. 1.4.3.25. Rappresentazione dei valori dell'indice EQS presso le stazioni di campionamento dei SIC IT6000005 e IT6000006 in relazione alla potenziale fonte di disturbo.

La freccia rossa indica la posizione del Porto di Civitavecchia.

Diversità

In totale sono state identificate 70 taxa algali, di cui 5 Chlorophyta, 6 Heterokontophyta e 49 Rhodophyta (Tab. 1.4.3.9.).

Il numero medio delle specie algali che si accrescono sulle Corallinales calcolato come media per campione è $25,5 \pm 2,0$ (media $\pm$ ES, $n=15$). I valori massimi si riscontrano in prossimità del porto.

Il ricoprimento medio per campione, compreso le Corallinales che hanno sempre un valore di 100, è $158,3 \pm 5,8$. I valori massimi si riscontrano in prossimità del porto.

L'indice di diversità di Shannon-Weaver mostra valori minimi in prossimità del porto per aumentare proporzionalmente alla distanza dal porto in direzione sud, mentre a nord non è evidente un gradiente di distanza (Fig. 1.4.3.26).

Tab. 1.4.3.9. Lista dei taxa identificati nelle stazioni vicino (COR 1 e COR 2Sud) e Lontano (COR 7 e COR 5Sud) dal porto di Civitavecchia (Mattonara). Le abbondanze sono espresse come media tra le tre repliche del ricoprimento percentuale. L'asterisco indica le specie aliene.

TAXA	COR 7	COR 1	Porto, area Mattonara	COR 2Sud	COR 5Sud
Chlorophyta					
<i>Caulerpa cylindracea</i> Sonder *	0.00	5.50	0.00	0.00	0.00
<i>Cladophora prolifera</i> (Roth) Kützing	0.10	0.30	0.33	0.10	0.33
<i>Flabellia petiolata</i> (Turra) Nizamuddin	0.00	1.00	1.17	0.00	0.00
<i>Palmophyllum crassum</i> (Naccari) Rabenhorst	0.00	0.00	0.13	0.00	0.00
<i>Pseudochlorodesmis furcellata</i> (Zanardini) Børgesen	0.30	0.40	1.23	0.53	0.40
Heterokontophyta					
<i>Cutleria chilosa</i> (Falkenberg) P.C. Silva (sporophyte "Aglaozonina")	0.00	0.00	0.33	0.00	0.00
<i>Dictyopteris polypodioides</i> (A.P. De Candolle) J.V. Lamouroux	0.00	5.50	0.17	0.00	0.50
<i>Dictyota linearis</i> (C. Agardh) Greville	0.00	0.80	0.00	0.03	0.00
<i>Halopteris filicina</i> (Grateloup) Kützing	0.00	0.00	1.23	0.63	0.33
<i>Sphacelaria plumula</i> Zanardini	0.00	0.20	0.07	0.00	0.20
<i>Zanardiniatypus</i> (Nardo) G. Furnari	0.00	8.50	0.83	9.67	1.00
Rhodophyta					
<i>Acrodiscus vidovichii</i> (Meneghini) Zanardini	0.00	0.00	0.40	0.00	0.00
<i>Acrosorium venulosum</i> (Zanardini) Kylin	0.00	0.00	0.67	0.00	0.10
<i>Acrothamnion preissii</i> (Sonder) Wollaston *	0.00	0.00	0.53	0.00	0.00
<i>Aglaothamnion tenuissimum</i> (Bonnemaison) Feldmann- Mazoyer	0.07	0.40	0.13	0.00	0.07
<i>Amphiroa beauvoisii</i> J.V.Lamouroux	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Anthithamnion piliferum</i> Cormaci et Furnari	0.00	0.30	0.20	0.00	0.10

<i>Antithamnion tenuissimum</i> (Hauck) Schiffner	0.07	0.10	0.00	0.07	0.07
<i>Apoglossum gregarium</i> (Dawson) M.J. Winne*	0.00	0.20	0.10	0.00	0.00
<i>Apoglossum ruscifolium</i> (Turner) J. Agardh	0.00	0.20	0.00	0.07	0.13
<i>Bonnemaisonia asparagoides</i> (Woodward) C. Agardh	0.00	1.70	0.00	0.00	0.00
<i>Botryocladia botryoides</i> (Wulfen) Feldmann	0.00	0.70	0.07	0.13	0.00
<i>Ceramium cimbricum</i> H.E. Petersen	0.00	0.20	0.03	0.00	0.07
<i>Ceramium codii</i> (H. Richards) Feldmann-Mazoyer	0.00	0.00	0.10	0.00	0.07
<i>Champia parvula</i> (C. Agardh) Harvey	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00
<i>Chondria capillaris</i> (Hudson) M.J. Wynne	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00
<i>Compsothamnion thuyoides</i> (Smith) Nägeli	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00
<i>Contarinia peyssonneliaeformis</i> Zanardini	0.00	0.00	0.30	0.00	0.10
<i>Contarinia squamariae</i> (Meneghini) Denizot	0.47	1.10	2.53	1.00	0.00
<i>Crouania attenuata</i> (C. Agardh) J. Agardh	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00
<i>Dasyarigidula</i> (Kützinger) Ardissonne	0.00	0.30	0.03	0.00	0.00
<i>Erythroglossum sandrianum</i> (Kützinger) Kylin	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00
<i>Eupogodon planus</i> (C. Agardh) Kützinger	0.00	1.00	0.50	0.23	0.33
<i>Asparagopsis</i> sp. Montagne (sporophyte <i>Falkenbergia</i> F.Schmitz) *	0.00	0.30	0.00	0.00	0.00
<i>Feldmannophycus rayssiae</i> (Feldmann et Feldmann-Mazoyer) Augier et Boudouresque	0.10	0.40	0.30	0.00	0.07
<i>Griffithsia schousboei</i> Montagne	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00
<i>Herposiphonia secunda</i> (C. Agardh) Ambronn	0.00	0.00	0.03	0.00	0.07
<i>Hypoglossum hypoglossoides</i> (Stackhouse) Collins et Harvey	0.00	0.00	0.07	0.00	0.07
<i>Jania adhaerens</i> J. V. Lamouroux	0.00	0.00	0.03	0.00	0.13
<i>Laurencia chondrioides</i> Børgeesen *	0.00	0.00	0.33	0.00	0.00
<i>Lomentaria clavae formis</i> Ercegovic	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00
<i>Meredithia microphylla</i> (J. Agardh) J. Agardh	3.00	2.50	2.17	0.50	0.73

<i>Monosporuspedicellatus</i> (J.E. Smith) Solier	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00
<i>Neurocaulonfoliosum</i> (Meneghini) Zanardini	0.00	1.00	0.00	0.50	0.00
<i>Nitophyllum micropunctatum</i> Funk	0.00	0.00	0.03	0.00	0.13
<i>Osmundaea pelagosae</i> (Schiffner) F.W. Nam	4.00	4.00	0.00	2.33	7.73
<i>Peyssonnelia polymorpha</i> (Zanardini) F. Schmitz	15.00	2.00	1.17	0.00	0.00
<i>Peyssonnelia rubra</i> (Greville) J. Agardh	8.50	30.00	66.33	18.50	3.00
<i>Peyssonnelia stoechas</i> BoudouresqueetDenizot	0.50	0.00	0.50	0.00	0.00
<i>Plocamium cartilagineum</i> (Linnaeus) P.S. Dixon	0.00	1.00	0.10	0.00	0.00
<i>Polysiphonia elongata</i> (Hudson) Sprengel	0.00	0.10	0.00	0.00	0.30
<i>Polysiphonia furcellata</i> (C. Agardh) Harvey	0.10	0.00	0.10	0.07	0.07
<i>Polysiphonia perforan s</i> Cormaci, G. Furnari, Pizzuto et Serio	0.10	1.10	0.20	0.13	0.30
<i>Pterosiphonia parasitica</i> (Hudson) Falkenberg	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00
<i>Pterothamnion plumula</i> (Ellis) Nägeli	0.00	0.70	0.53	0.00	0.10
<i>Ptilothamnion pluma</i> (Dillwyn) Thuret	0.00	0.20	0.10	0.00	0.00
<i>Radicilingua reptans</i> (Kylin) Papenfuss	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00
<i>Rhodophyllis divaricata</i> (Stackhouse) Papenfuss	0.00	0.00	0.00	0.07	0.10
<i>Rodriguezella strafforello</i> iF. Schmitz	0.30	0.00	0.23	0.20	0.65
<i>Sebdeniamonardiana</i> (Montagne) Berthold	0.00	3.00	0.00	0.00	3.67
<i>Spermothamnion repens</i> (Dillwyn) Rosenvinge	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00
<i>Sphondylothamnion multifidum</i> (Hudson) Nägeli	0.00	0.30	0.00	0.00	0.20
<i>Tricleocarpa fragilis</i> (linnaeus) Huismanet R.A. Townsend	0.00	0.40	0.00	0.00	0.00

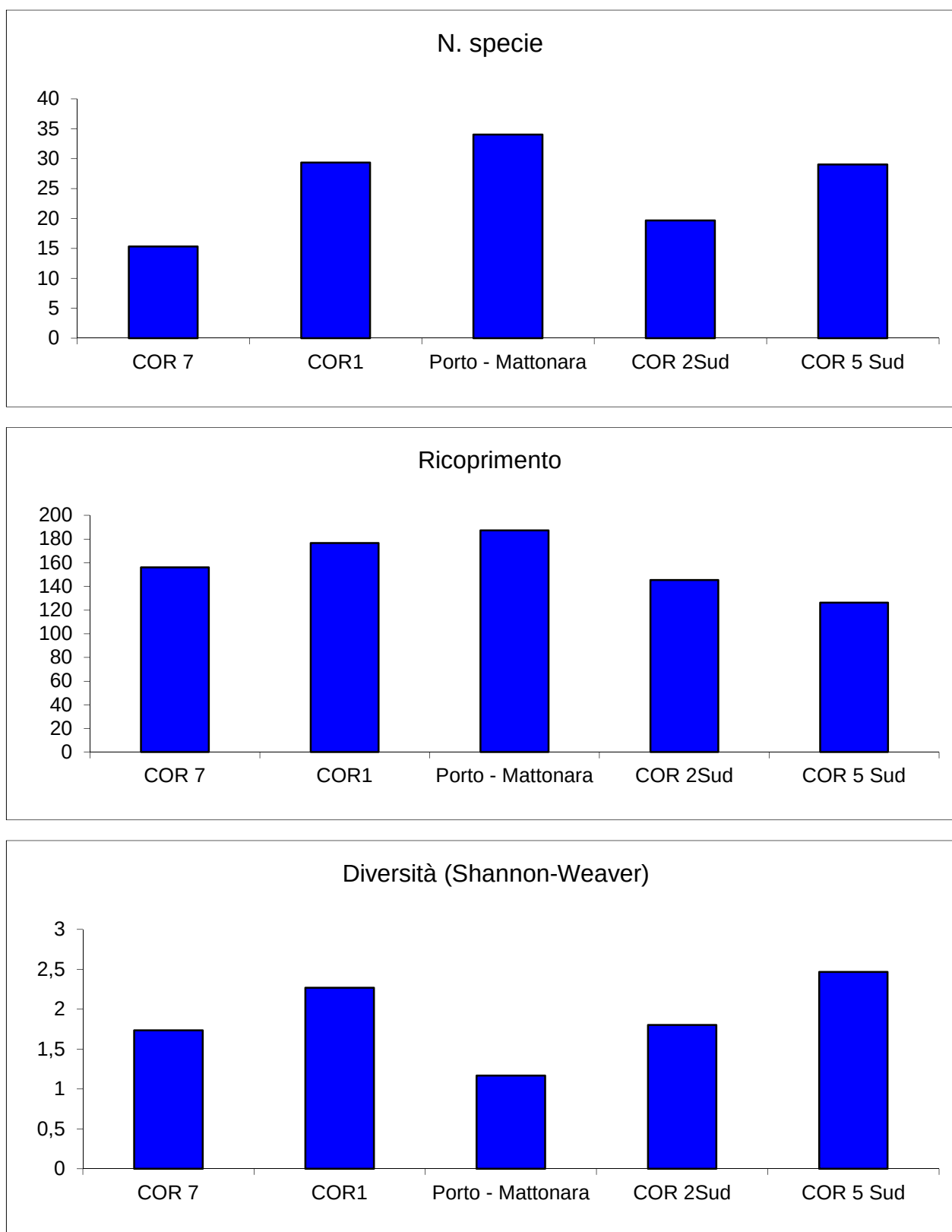


Fig. 1.4.3.26. Numero medio di specie per campione (media $\pm$ ES, n=3), ricoprimento percentuale e valori dell'indice di diversità di Shannon-Weaver.

Specie aliene

Dai campioni fotografici realizzati presso i 2 SIC solo in quelli relativi al SIC IT6000005 sono risultate presenti le due alghe alloctone *Caulerpa cylindracea* e *Asparagopsis taxiformis*. La prima è stata individuata in prossimità del porto (stazione COR 1), mentre la seconda presso la stazione COR 4 nell'area centrale del SIC IT6000005 (Foto 1.4.3.9). Entrambe le specie hanno mostrato valori di copertura piuttosto bassi, 2.8 e 1.3 rispettivamente.

Dall'analisi dei grattaggi sono state trovate oltre alle sopracitate *Caulerpa cylindracea* e *Asparagopsis taxiformis* (come stadio sporofitico *Falkenbergia*) altre 3 specie appartenenti alle Rhodophyta: *Acrothamnion preissii*, *Apoglossum gregarium* e *Laurencia chondrioides* (Tab. 1.4.3.9). Il numero maggiore di specie aliene è stato riscontrato in prossimità del porto (Mattonara e COR1) presso il SIC IT6000005. Le abbondanze di tutte le specie aliene sono risultate piuttosto basse, non evidenziando invasioni in atto dell'habitat coralligeno nei siti studiati.



Foto 1.4.3.9. *Asparagopsis taxiformis* (stazione COR 4) e *Caulerpa cylindracea* (stazione COR 1)

- **Valutazione presenza *Corallium rubrum***

Il corallo rosso (*Corallium rubrum* L., 1758 Phylum Cnidaria), è la specie marina di maggior valore economico; per questo motivo la maggior parte dei suoi popolamenti sono stati sovra- sfruttati. Quest'importante e bella componente del Coralligeno (esclusiva del Mediterraneo e del vicino Atlantico) fa parte della Classe degli Antozoi, dell'Ordine degli Ottocoralli (o Alcyonari) e della Famiglia dei Gorgonacei. Il corallo rosso è un sospensivoro che si nutre prevalentemente di micro e nano plankton e di sostanza organica particolata che, trasportati (o risospesi coi sedimenti del fondo) dalle correnti, vengono catturati dai tentacoli pinnati dei numerosi polipi da cui la colonia è composta.

Lo scheletro interno delle colonie, di un rosso brillante, è costituito da carbonato di calcio ("Calcite magnesifera") arricchito da Silicio, Stronzio, Ferro e Manganese. La colorazione, insieme alla durezza dello scheletro interno (che, a differenza di quello delle altre gorgonie, è lavorabile) rende questa specie particolarmente adatta alla produzione di gioielli ed oggetti artistici di vario tipo. Il valore del corallo finemente lavorato può superare quello dell'oro.

Il corallo rosso vive su fondali rocciosi tra i 20 ed i 350 metri; nella parte superiore di questa fascia di profondità è insediato nelle cavità meno illuminate (viene definito specie "moderatamente sciafila"); in ambiente di grotta si trova anche a profondità minori. Oltre alla luce, un altro fattore che influenza la sua distribuzione verticale è la temperatura; questa specie vive al disotto del termoclino estivo, a profondità alle quali la temperatura non supera normalmente i 21-22 gradi.

Nell'ambito dell'ampio intervallo di profondità in cui la specie vive è possibile distinguere due tipi di popolamenti: quelli più superficiali (che vivono tra i 20-50 metri di profondità), caratterizzati da colonie piccole e molto dense, il cui scheletro interno presenta spesso cavità dovute all'azione delle spugne perforanti (Clionidi) e quelli che vivono più profondi, caratterizzati da colonie di taglia maggiore, meno dense. Soltanto le colonie di quest'ultimi popolamenti presentano un elevato valore economico. I popolamenti meno profondi, pur avendo un limitato valore commerciale, sono d'altra parte molto importanti perché assicurano la sopravvivenza della specie e, a causa della loro accessibilità, costituiscono una forte attrazione turistica per le aree marine in cui sono presenti, permettendo la realizzazione di studi e sperimentazioni scientifiche.

Come evidenziato in precedenza nella descrizione degli habitat, il coralligeno presente nell'area indagata si configura prevalentemente come affioramenti e solo raramente si osservano strutture geomorfologiche del fondo marino tali da poter ospitare il coralligeno di parete, habitat ideale delle popolazioni superficiali di corallo rosso più studiate (es. Livorno e Portofino in Italia, Marsiglia in Francia, Cap de Creus e Isole Medas in Spagna).

Vere e proprie pareti di coralligeno (alte almeno una decina di metri) sono state osservate solo presso due delle stazioni indagate per lo studio del coralligeno: COR 7 (Murata di S. Agostino) localizzata nei pressi del SIC IT6000005 e COR 2Sud (non a caso conosciuto come Scoglio del Corallo) che si trova invece all'interno del SIC IT6000005. Le due stazioni sono state selezionate in quanto località dove era nota la presenza di *Corallium rubrum* sia presso la comunità scientifica sia presso i centri di immersione subacquea sportiva che insistono nella zona di Civitavecchia. Inoltre in nessuna delle altre 11 stazioni indagate per il coralligeno è stata rilevata la presenza di corallo rosso.

Presso la Murata di S. Agostino il Laboratorio di Oceanologia Sperimentale ed Ecologia Marina DEB – Università degli Studi della Tuscia, ha recentemente svolto delle indagini per la caratterizzazione delle biocenosi di fondo duro. È parso opportuno studiare il sito nel contesto di questa valutazione di incidenza sia per la vicinanza al perimetro del SIC IT6000005 sia per la rilevanza ecologica dell'area.

La peculiarità che caratterizza la Murata di Sant'Agostino è l'esistenza in un contesto spaziale così piccolo, di comunità particolarmente importanti dal punto di vista ecologico e naturalistico, la cui distribuzione è dettata dalle caratteristiche edafiche ed abiotiche delle pareti: in particolare, la parte superiore del promontorio e la parete esposta a Sud presentano un fitto bosco di *Paramuricea clavata* (Risso, 1826), all'interno della quale trovano riparo moltissime specie di elevato valore economico, quali le aragoste e piccole colonie di *Corallium rubrum*. La parete esposta a Nord, invece, che riceve una minore quantità di luce durante tutto l'anno, ospita una comunità più sciafila, caratterizzata dalla presenza di numerosissime colonie di corallo rosso di modeste dimensioni.

La Murata di Sant'Agostino è situata al largo della Località la Frasca subito a Nord di Civitavecchia, si tratta di un affioramento roccioso con la parte più elevata localizzata ad una profondità di 23 m sotto il livello del mare e con pareti verticali che si spingono fino a massimo 50 m. Tale affioramento costituisce un promontorio sommerso lungo circa 550 m e largo 300 m (Fig. 1.4.3.27).

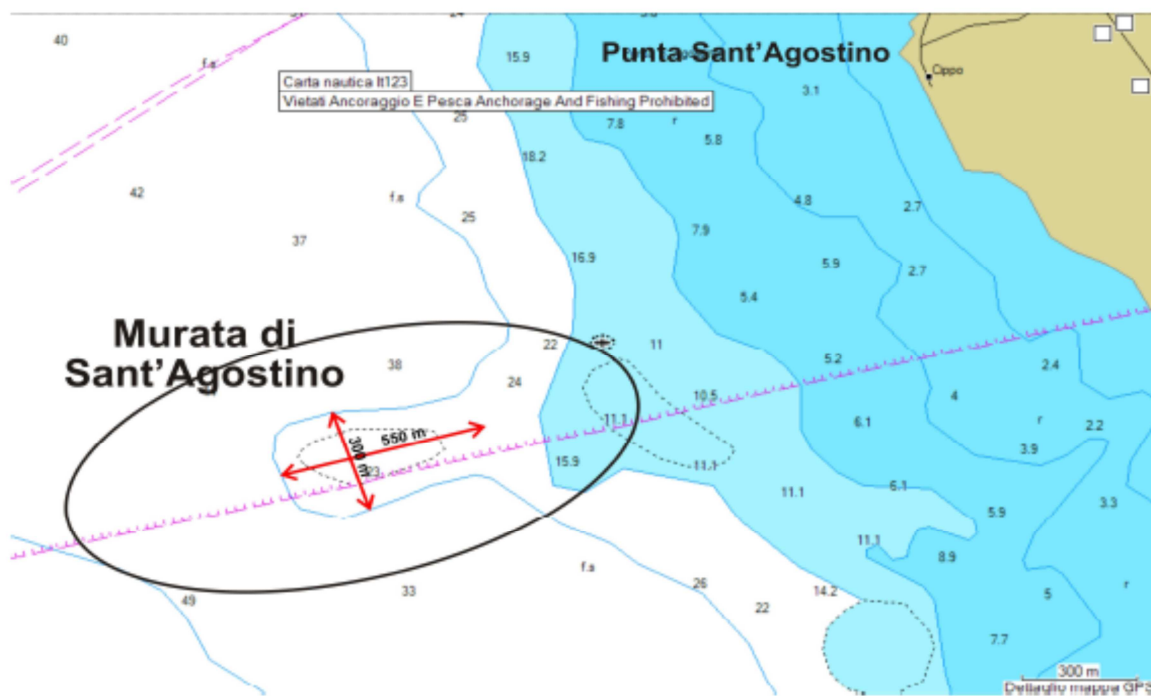


Fig. 1.4.3.27. Struttura e dimensioni della Murata di Sant'Agostino.

La relazione del Laboratorio di Oceanologia Sperimentale ed Ecologia Marina riferisce che la specie dominante presente sulla parte superiore del promontorio sommerso e sulla sua parete meridionale è la *Paramuricea clavata*, presente in ambienti moderatamente esposti alle correnti; le colonie sono presenti con una elevata densità sulla parete meridionale Foto 1.4.3.10 e con una densità inferiore sulla parte superiore della Murata Foto 1.4.3.11.



Foto 1.4.3.10 Denso popolamento a *Paramuricea clavata* lungo la parete esposta a Sud-Sud Est.

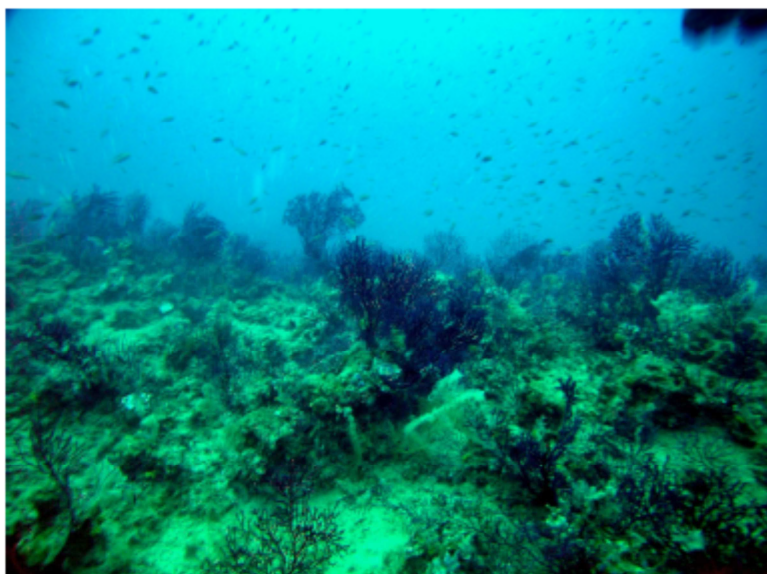


Foto 1.4.3.11. Immagine relativa alla parte superiore del promontorio sommerso della Murata; si nota la presenza di numerose colonie di *Paramuricea clavata*.

La parete settentrionale si estende verticalmente da una profondità di circa 23 metri fino ad un massimo di 40 metri; i fattori abiotici dominanti hanno fatto sì che questa parete fosse colonizzata dalla Biocenosi delle Grotte Semioscure (GSO) (Peres & Picard, 1964; Meinsez, et al., 1983), la cui specie caratteristica esclusiva risulta essere il *Corallium rubrum*), presente in quest'area con colonie di dimensioni modeste.

Il substrato risulta essere principalmente di natura organogena con una morfologia piuttosto accidentata che porta alla presenza di numerose sporgenze e anfratti, all'interno della quale spesso si rinvencono numerose colonie di *Corallium rubrum*.

Nel corso di questa valutazione di incidenza, nel tentativo di dare una prima caratterizzazione anche quantitativa alla popolazione di corallo rosso presente è stato valutato il ricoprimento della specie utilizzando lo stesso campionamento fotografico utilizzato per la definizione dello stato di qualità del coralligeno. Va detto che questo tipo di campionamento genera una sotto stima della presenza di corallo, in quanto mentre *Corallium rubrum* si insedia soprattutto in cavità ed anfratti dove colonizza soprattutto le volte, le fotografie utilizzate nel campionamento per il calcolo dell'indice ESCA viene fatto sulle pareti esterne e più esposte.

Fatta salva questa doverosa premessa, dalle indagini fatte si conferma la cospicua presenza della specie in entrambe le stazioni studiate. La copertura media (in parete) di *Corallium rubrum* presso la Murata Sant'Agostino (COR 7) è risultata di 1.3% del substrato, mentre il popolamento (sempre in parete) è apparso più denso presso lo Scoglio del Corallo (COR 2Sud) dove la copertura media è risultata pari al 4.8% Fig. 1.4.3.28. Le colonie sono risultate sempre piuttosto piccole con un'altezza media di circa 10 cm e massima di 30 cm Foto 1.4.3.12 e Foto 1.4.3.13.

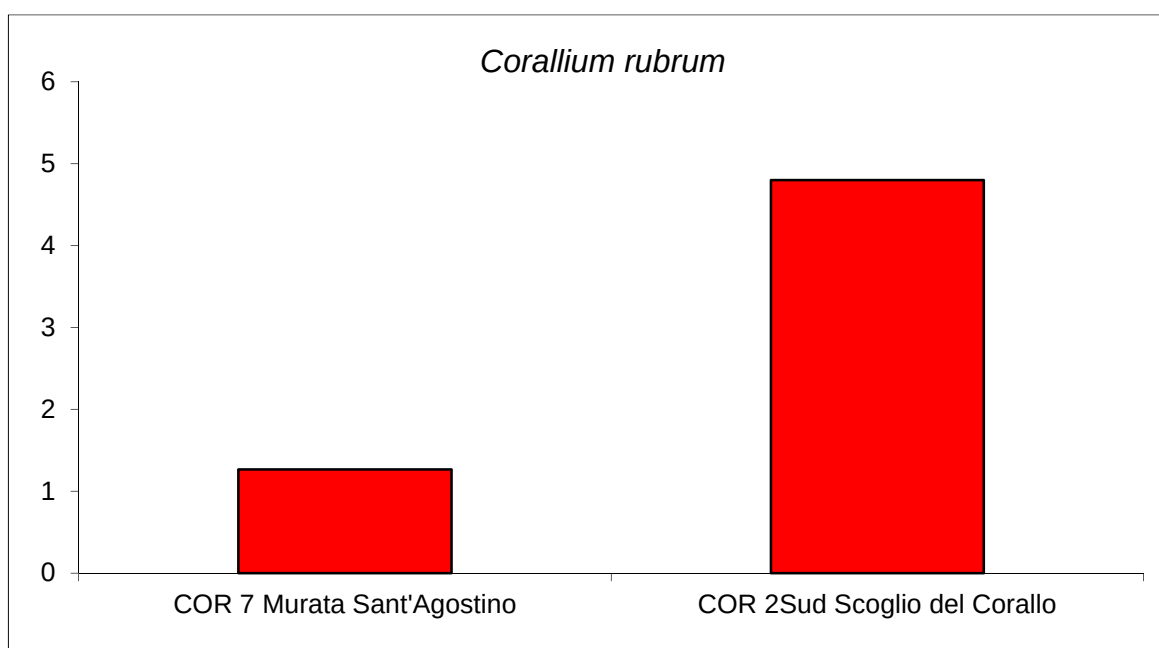


Fig. 1.4.3.28. Copertura percentuale di *Corallium rubrum* nelle due stazioni studiate.



Foto 1.4.3.12. Immagini relative al campionamento presso la Murata Sant'Agostino



Foto 1.4.3.13. Immagini relative al campionamento presso lo Scoglio del Corallo

Caratteristiche dei popolamenti studiati

I popolamenti coralligeni nell'area di studio sono risultati piuttosto impoveriti come si evince dalla bassa copertura di organismi strutturanti quali alghe erette, briozoi eretti e gorgoniacei. Al contrario, organismi tolleranti come le alghe costituenti il feltro e le spugne incrostanti raggiungono coperture importanti in tutte le stazioni.

Questo risultato è da ritenere collegato alle pressioni che agiscono sull'area, principalmente di natura fisica (Piazzi et al. 2011, 2012). In particolare, l'alta sedimentazione sembra influenzare negativamente i popolamenti. La mancanza di organismi strutturanti e l'abbondanza del feltro sembrano indicare uno stress legato agli effetti coprente e abrasivo del sedimento (Balata et al. 2005, 2007a, 2007b).

Nonostante queste considerazioni generali, un gradiente di qualità è stato evidenziato in relazione alla distanza dal porto. Infatti la maggior parte delle stazioni vicine al porto, specialmente nell'area settentrionale che interessa il SIC IT6000005, sono risultate povere, mentre le altre sono risultate di qualità sufficiente.

Anche l'indice di diversità di Shannon-Weaver risulta piuttosto basso in prossimità del porto e nell'area settentrionale. Tuttavia, la presenza, anche se con basse coperture, di organismi buoni indicatori, quali alghe rosse fogliacee (principalmente *Sebdenia monardiana*), briozi eretti (*Reteporella* spp.), corallo (*Corallium rubrum*) e gorgonie (*Eunicella* spp. e *Paramuricea clavata*), concorre a determinare un valore ecologico dell'habitat coralligeno principalmente nelle aree più distanti dal porto, ma anche nelle sue vicinanze come nel caso specifico dello Scoglio del corallo (COR 2Sud) presso il SIC 5000006.

1.4.4. Riferimenti bibliografici

- AA.VV. Biocostruzioni marine, elementi di architettura naturale. Quaderni Habitat. Ed. MATTM (Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare) & Museo Friulano di Storia Naturale – Comune di Udine, N. 22, pagg. 159.
- AA.VV. Praterie a fanerogame marine. Quaderni Habitat. Ed. MATTM (Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare) & Museo Friulano di Storia Naturale – Comune di Udine, N. 19, pagg. 159.
- ACUNTO S., 1991 - Metodi di rilevamento cartografico applicati alle praterie di *Posidonia oceanica* (L.) Delile e studio preliminare sullo stato delle biocenosi bentoniche nell'ambito di un programma di monitoraggio ambientale. *Tesi di laurea*, Università di Pisa. 92 pp.
- Acunto S., 2000 - Tecniche di campionamento fotografico e studio della variabilità spazio-temporale in popolamenti coralligeni. *Tesi di dottorato*, Università di Pisa. 146 pp.
- ACUNTO S., LYONS A.P., POULIQUEN E., 2000a – Some anatomical features of *Posidonia oceanica* leaves and their importance to acoustic scattering. *Biol. Mar. Medit.* 7(1): 571-574.
- ACUNTO, S., PIAZZI L., CINELLI, F., 2000b. Mappatura delle praterie di *Posidonia oceanica* dell'Isola d'Elba mediante sonar a scansione laterale e teledetezione aerotrasportata. *Biol. Mar. Medit.*, 7 (1): 495-498.
- Acunto S., Balata D., Cinelli F., 2001. Variabilità spaziale nel coralligeno e considerazioni sul metodo di campionamento. *Biol. Mar. Medit.* 8(1): 191-200.
- Acunto S., Balata D., Cinelli F., 2001. Dinamica spazio-temporale in popolamenti coralligeni. XXXII congresso S.I.B.M. (Numana, Riviera del Conero). *Abstarct.* 46.
- Airoidi, L., 2003. The effects of sedimentation on rocky coastal assemblages. *Oceanography and Marine Biology Annual Review* 41, 161–203.
- Anderson, M.J. (2001). A new method for a non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecology*, 26: 32-46.
- Anderson, M.J. (2006). Distance-based test for homogeneity of multivariate dispersions. *Biometrics*, 62: 245–253.
- Anderson, M.J., Ellingsen, K.E., McArdle, B.H. (2006). Multivariate dispersion as a measure of beta diversity. *Ecology Letters*, 9: 683–693.
- ARDIZZONE G.D., 1992 - Cartografia bentonica con sistemi video controllati a distanza. *Oebalia*, XVII, suppl.,:441-452.
- ARDIZZONE G.D. e A. BELLUSCIO, 1993 - Cartografia delle praterie di *Posidonia oceanica* lungo le coste laziali. *Oebalia*, XVI (2), Suppl.: 539-541.
- ARDIZZONE G.D. e A. BELLUSCIO, 1995 - Le praterie di *Posidonia oceanica* lungo le coste laziali. In: Il mare del Lazio. Università degli Studi di Roma - Regione Lazio:194-217.
- ARDIZZONE G.D., G.B. LA MONICA, R. RAFFI, 1996 - Carta della distribuzione dei sedimenti e delle praterie di *Posidonia oceanica* - Lazio. In: Il mare del Lazio. Università di Roma "La Sapienza" - Regione Lazio.
- ARDIZZONE G.D., BELLUSCIO A., FABI G., 2003 - Cartografia delle biocenosi bentoniche del tratto di mare antistante il Monte Conero. In: L'area antistante il Promontorio del Monte Conero. A cura di Fabi G., Marini M., Palladino S. Quaderni dell'Istituto Ricerche Pesca Marittima, CNR Ancona, Vol. 1 Nuova Serie: 111-114.
- ARDIZZONE G.D., A. BELLUSCIO, L. MAIORANO, 2006 - Long-term change in the structure of a *Posidonia oceanica* landscape and its reference for a monitoring plan. *Marine Ecology*, 27: 299–309.

- Balata, D., Piazzì, L., Cecchi, E., Cinelli, F. (2005). Variability of Mediterranean coralligenous assemblages subject to local variation in sediment deposits. *Marine Environmental Research*, **60**: 403-421.
- Balata, D., Acunto, S., Cinelli, F., 2006. Spatio-temporal variability and vertical distribution of a low rocky subtidal assemblage in the north-west Mediterranean. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **67**, 553–561.
- Balata, D., Piazzì, L., Benedetti-Cecchi, L. (2007a). Sediment disturbance and loss of beta diversity on subtidal rocky reefs. *Ecology*, **8**: 2455-2461.
- Balata, D., Piazzì, L., Cinelli, F. (2007b). Increase of sedimentation in a subtidal system: effects on the structure and diversity of macroalgal assemblages. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **351**: 73-82.
- Balata, D., Piazzì, L., Bulleri, F. (2015). Sediment deposition dampens positive effects of substratum complexity on the diversity of macroalgal assemblages. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* (in stampa).
- BIANCHI C.N. e PEIRANO A., 1995 – Atlante delle fanerogame marine della Liguria, Posidonia oceanica e Cymodocea nodosa. ENEA – CRAM, La Spezia. 146 pp.
- BIANCHI C.N., ARDIZZONE G.D., BELLUSCIO A., COLANTONI P., DIVIACCO G., MORRI C., TUNESI L., 2004 - La Cartografia del Benthos. In: Manuale di metodologie di campionamento e studio del benthos marino mediterraneo. Gambi M.C. e Dappiano M. (Eds.). *Biol. Mar. Medit.*, **11** (suppl. 1): 347-370.
- Bianchi C.N., Prozato R., Cattaneo-Vietti R., Benedetti Cecchi L., Morri C., Pansini M., Chemello R., Milazzo M., Fraschetti S., Terlizzi A., Peirano A., Salvati E., Benzoni F., Calcinaï B., Cerrano C. e Bavestrello G., 2004. Fondi duri. In: *Manuale di metodologie di campionamento e studio del benthos marino mediterraneo*. Gambi M.C. e Dappiano M., Editori. *Biol. Mar. Medit.* **11** (Suppl. 1): 185-215.
- Buia M.C., Gambi M.C. e Dappiano M., 2004. Sistemi a fanerogame marine. In: *Manuale di metodologie di campionamento e studio del benthos marino mediterraneo*. Gambi M.C. e Dappiano M., Editori. *Biol. Mar. Medit.* **11** (Suppl. 1): 133-183.
- Ceccherelli G., Caronni S. 2014. Monitoraggio delle specie aliene presenti nelle acque dell'area marina Tavolara-Punta Coda Cavallo. "Il monitoraggio dei valori ambientali socio-economici del SIC-AMP Tavolara-Molara e Molarotto, finalizzato ad una efficace gestione". Olbia 24 gennaio 2014.
- Cecchi E., Gennaro P., Piazzì L., Ricevuto E. e Serena F., 2014. Development of a new biotic index for ecological status assessment of Italian coastal waters based on coralligenous macroalgal assemblages. *European Journal of Phycology*, **49**:3, 298-312.
- C.I.B.M. (1992). mappatura delle praterie di Posidonia oceanica (L.) Delile intorno alle isole minori dell'Arcipelago toscano. Ministero della Marina Mercantile -Ispettorato Centrale per la Difesa del Mare. Rapporto finale: 142 pp.
- C.I.B.M. (1995). mappatura della *Posidonia oceanica* (L.) Delile: «Isola d'Elba». Ministero dell'Ambiente - Ispettorato Centrale per la Difesa del Mare. Rapporto finale: 71 pp.
- Cinelli F., Acunto S., BALATA D., PIAZZI L., 2006 - La cartographie des herbiers à *Posidonia oceanica* en Italie. In: UNEP–MAP– RAC/SPA. *Proceedings of the second mediterranean symposium on marine vegetation Athens (12-13 December 2003)*, RAC-SPA edit, Tunis. 131-135.

- Cinelli, F., Balata, D., Piazzì, L., 2007. Threats to coralligenous assemblages: sedimentation and biological invasions. In: Proceeding of the third Mediterranean Symposium on Marine Vegetation, (Marseille, 27-29 March 2007), pp. 42-47.
- Colantoni, P., 1995 - Cartografia delle praterie di Posidonia. In: Cinelli F., Fresi E., Lorenzi C. e Mucedola A. (eds), Suppl della Rivista marittima: 106-115.
- Diviacco G., Spada E., Virno Lamberti C., 2001. Le fanerogame marine del Lazio, Descrizione e cartografia delle praterie di Posidonia oceanica e dei prati di Cymodocea nodosa. ICRAM. 113 pp. + carte.
- DIVIACCO G. e S. COPPO. 2006 - Atlante degli Habitat Marini della Liguria. Catalogo dei beni naturali. Regione Liguria. 83 tavole cartografiche + CD.
- EEA, 2007. Technical Report N° 11/2007. European Environmental Agency, Copenhagen, Denmark. 182 pp.
- Ferdeghini, F., Acunto, S., Cocito, S., Cinelli, F., 2000. Variability at different spatial scales of a coralligenous assemblage at Giannutri island (Tuscan Arcipelago, northwestern Mediterranean). *Hydrobiologia* 440, 27–36.
- Gambi M.C. e Dappiano M., Editori. 2004. Manuale di metodologie di campionamento e studio del bentos marino mediterraneo. *Biol. Mar. Medit.* 11 (Suppl. 1), 604 pp.
- Garrabou, J., Ballesteros, E., 2000. Growth of *Mesophyllum alternans* and *Lithophyllum frondosum* (Corallinales, Rhodophyta) in the northwestern Mediterranean. *European Journal of Phycology* 35, 1–10.
- Gennaro, P., Piazzì, L., 2011. Synergism between the invasion of macroalga *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* and seawater nutrient enrichment. *Marine Ecology Progress Series* 427, 59–70.
- Glasby T.M. 2013. *Caulerpa taxifolia* in seagrass meadows: killer or opportunistic weed? *Biological Invasions* 15: 1017-1035
- ICRAM, 2001 – Metodologie analitiche di riferimento. Programma di monitoraggio e controllo dell'ambiente marino-costiero. Ministero dell'ambiente e della tutela del Territorio.
- Katsanevakis S., Issaris Y., Poursanidis D., Thessalou-Legaki M. 2010. Vulnerability of marine habitats to the invasive green alga *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* within a marine protected area. *Marine Environmental Research* 70: 210-218
- Laborel, J., 1961. Le concrétionnement algal “coralligène” et son importance geomorphologique en Méditerranée. *Recueil des Travaux Scientifiques de la Station Maritime d'Endoume* 23, 37–60.
- Laborel, J., 1987. Marine biogenic constructions in the Mediterranean, a review. *Scientific Reports of Port-Cros national Park* 13, 97–127.
- Laubier, L., 1966. Le coralligène des Albères. Monographie biocenotique. *Annales de l'Institut Oceanographique de Paris* 43, 137–316.
- MATTM (Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare), 2010. DECRETO 8 novembre 2010, n. 260: Regolamento recante i criteri tecnici per la classificazione dello stato dei corpi idrici superficiali, per la modifica delle norme tecniche del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, recante norme in materia ambientale, predisposto ai sensi dell'articolo 75, comma 3, del medesimo decreto legislativo. *Gazzetta Ufficiale*, Suppl. ordinario n. 31/L.
- MIFSUD C., CINELLI F., PIAZZI L., ACUNTO S., BALATA D., LANFRANCO E., MICALLEG S. A., 2004 - The distribution and state of health of the *Posidonia oceanica* (L.) Delile meadows in

Maltese territorial waters. *Annales Series Historia Naturalis* 14 Supplement Università del litorale Centro di Ricerche Scientifiche di Capodistria.

- Morganti, C., Cocito, S., Sgorbini, S., 2001. Contribution of bioconstructors to coralligenous assemblages exposed to sediment deposition. *Biologia Marina Mediterranea* 8, 283–286.
- Pergent G., Boudouresque Ch.F, Dumay O., Pergent-Martini C., Wyllie-Echeverria S. 2008. Competition between the invasive macrophyte *Caulerpa taxifolia* and the seagrass *Posidonia oceanica*: contrasting strategies. *BMC Ecology* 8: 20
- Pergent G., Pergent-Martini C., Boudouresque C.F., 1995. Utilisation de l'herbier a *Posidonia oceanica* comme indicateur biologique de la qualité du milieu littoral en Méditerranée: état des connaissances. *Mésogée*, 54:3-27.
- Piazzì L., Acunto S., Cinelli F., 2000. Mapping of *Posidonia oceanica* beds around Elba Island (western Mediterranean, Italy) with integration of direct and indirect methods. *Oceanologica Acta* 23 (3): 339-346
- PIAZZI L. , ACUNTO S. , PAPI I., PARDI G. , CINELLI F. , 2000 – Mappatura delle praterie di fanerogame della Toscana: situazione al 1998. *Biol. Mar. Medit.* 7(1):594-596.
- Piazzì, L., Balata, D., 2009. Invasion of alien macroalgae in different Mediterranean habitats. *Biological Invasion* 11, 193–204.
- Piazzì, L., Balata, D., 2011. Coralligenous habitat: patterns of vertical distribution of macroalgal assemblages. *Scientia Marina* 75, 399–406.
- Piazzì L., Balata D., Pertusati M. and Cinelli F., 2004. Spatial and temporal variability of Mediterranean macroalgal coralligenous assemblages in relation to habitat and substratum inclination. *Botanica Marina* 47: 105–115
- Piazzì, L., Balata, D., Cinelli, F., 2007. Invasions of alien macroalgae in Mediterranean coralligenous assemblages. *Cryptogamie Algologie* 28, 289–301.
- Piazzì, L., Balata, D., Cecchi, E., Cinelli, F., Sartoni, G., 2010. Species composition and patterns of diversity of macroalgal coralligenous assemblages of northwestern Mediterranean Sea. *Journal of Natural History* 44, 1–22.
- Piazzì, L., Gennaro, P., Balata, D. (2011). Effects of nutrient enrichment on macroalgal coralligenous assemblages. *Marine Pollution Bulletin*, 62: 1830-1835.
- Piazzì, L., Gennaro, P., Balata, D. (2012). Threats to macroalgal coralligenous assemblages in the Mediterranean Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 64: 2623-2629.
- Piazzì, L., Gennaro, P., Cecchi, E., Serena, F. (2015). Improvement of the ESCA index for the evaluation of ecological quality of coralligenous habitat under the European Framework Directives. *Mediterranean Marine Science (in stampa)*.
- Piazzì L., Pardi G., Cecchi E., Cinelli F. – 2009- I popolamenti macroalgali di Calafuria (Livorno). Atti Soc. tosc. Sci. Nat., Mem., Serie B, 116, pagg. 81-90, tabb. 2.
- Piazzì, L., Rindi F., Cinelli, F., 2000. Composizione floristica di un fondale a coralligeno del litorale laziale settentrionale. *Biol. Mar. Medit.*, 7 (1): 715-717.
- Regione Lazio e Università di Roma, La Sapienza, 2011. Cartografia degli habitat costieri del Lazio.
- Rindi F., Sartoni G., Cinelli F. -2002- A floristic account of the marine benthic algae of Tuscany (Western Mediterranean Sea). *Nova Hedwigia*, 74 (1-2): 201-250.
- R.T.I. (CEOM, G.A.S., GEOLAB, THETIS, Università di Pisa), 2002 - Mappatura delle praterie di *Posidonia oceanica* lungo le coste della Sicilia e delle isole minori circostanti. Ministero dell'Ambiente – Servizio Difesa del Mare. Relazione finale. 644pp. + 1 Appendice.

- R.T.I. (FUGRO, G.A.S., Università di Pisa, C.I.B.M.), 2004 - Mappatura delle praterie di *Posidonia oceanica* e di altre fanerogame marine lungo le coste della Calabria della Campania e delle piccole isole circostanti. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio – Direzione per la Protezione della Natura. Relazione finale. 585 pp.
- Sanna D, Cossu P, Dedola GL, Scarpa F, Maltagliati F, et al., 2013. Mitochondrial DNA Reveals Genetic Structuring of *Pinna nobilis* across the Mediterranean Sea. PLoS ONE 8(6): e67372. doi:10.1371/journal.pone.0067372
- Sartoretto, S., Francour, P., 1997. Quantification of bioerosion by *Sphaerechinus granularis* on “coralligène” concretions of the western Mediterranean. *Journal of Marine Biological Association of United Kingdom* 77, 565–568.
- SOMASCHINI A., N MARTINI., M.F GRAVINA., A BELLUSCIO., CORSI F., ARDIZZONE G.D., 1998 - Characterization and cartography of some Mediterranean soft-bottom benthic communities (Ligurian Sea, Italy) *Scientia Marina*, 62 (1-2) 27-36.
- Streftaris N. & Zenetos A., 2006. Alien marine species in the Mediterranean, the 100 “Worst Invasives” and their impact. *Medit. Mar. Sci.* 7/1: 87-118.
- Virgilio, M., Airoidi, L., Abbiati, M., 2006. Spatial and temporal variations of assemblages in a Mediterranean coralligenous reef and relationships with surface orientation. *Coral Reefs* 25, 265–272

1.5. Analisi dei potenziali effetti prodotti dalle attività di dragaggio su specie e habitat prioritari presenti nei SIC IT6000005 E IT6000006

1.5.1. Introduzione

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

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

In letteratura sono presenti numerosi lavori in cui è stato affrontato il problema dell'impatto delle attività antropiche sulle praterie di *Posidonia oceanica*. La *Posidonia oceanica* è una specie considerata indicatrice dello stato di qualità del corpo idrico che colonizza; ciò è dovuto alla sua sensibilità, in particolare, sia alle variazioni della torbidità della colonna d'acqua che sovrasta le praterie, sia alle variazioni dei ratei sedimentari. L'aumento della concentrazione dei materiali presenti in sospensione nella colonna d'acqua (quindi la diminuzione della trasparenza del mezzo acquatico), porta molto spesso ad una regressione del limite inferiore di questi ecosistemi, a causa della riduzione della disponibilità di radiazione luminosa utile per la fotosintesi. Gli studi eseguiti

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

Un altro ecosistema che gioca un ruolo ecologico fondamentale per l'ambiente marino costiero è rappresentato dalle biocostruzioni coralligene, ossia dall'insieme delle strutture organogene costruite da organismi, sia vegetali che animali. Tali strutture, formate principalmente da carbonato di calcio, generalmente forniscono un substrato di colonizzazione e di riparo utile per altri organismi. In Mediterraneo, la maggior parte dei biodepositi presenti sono costruiti da organismi incrostanti quali alghe rosse, celenterati bentonici, policheti e briozoi (Laborel, 1987; Bianchi, 1997, 2002; Bianchi e Morri, 2004; Cocito e Ferdeghini, 2001). La presenza di organismi vegetali e animali in grado di costruire formazioni calcaree dipende dalla profondità in cui si trovano. Nelle zone più superficiali, in cui sussistono le condizioni per la presenza di organismi incrostanti, le biocostruzioni presenti sono principalmente costituite da alghe rosse (Corallinaceae) sciafile, mentre con l'aumentare della profondità diminuisce la componente vegetale a favore degli organismi animali. La variazione dei pattern sedimentari lungo le aree costiere, molto spesso dovuti alla risospensione di materiali di granulometria fine durante le attività di dragaggio, è una minaccia per la ricchezza e la biodiversità delle comunità bentoniche (Airoidi & Cinelli, 1997). La sedimentazione può agire attraverso diversi meccanismi; i sedimenti che si depositano sul fondo danneggiano, in particolar modo, gli organismi sessili, intasandone gli apparati di filtrazione ed inibendone la crescita ed i processi metabolici. Il sedimento risospeso dai dragaggi può aumentare la torbidità dell'acqua, compromettendo in tal modo la produzione delle alghe incrostanti che formano le biocostruzioni, e delle zooxantelle, microalghe simbionti di alcuni organismi sessili (Irving & Connell, 2002).

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

1.5.2. Oggetto e scopo

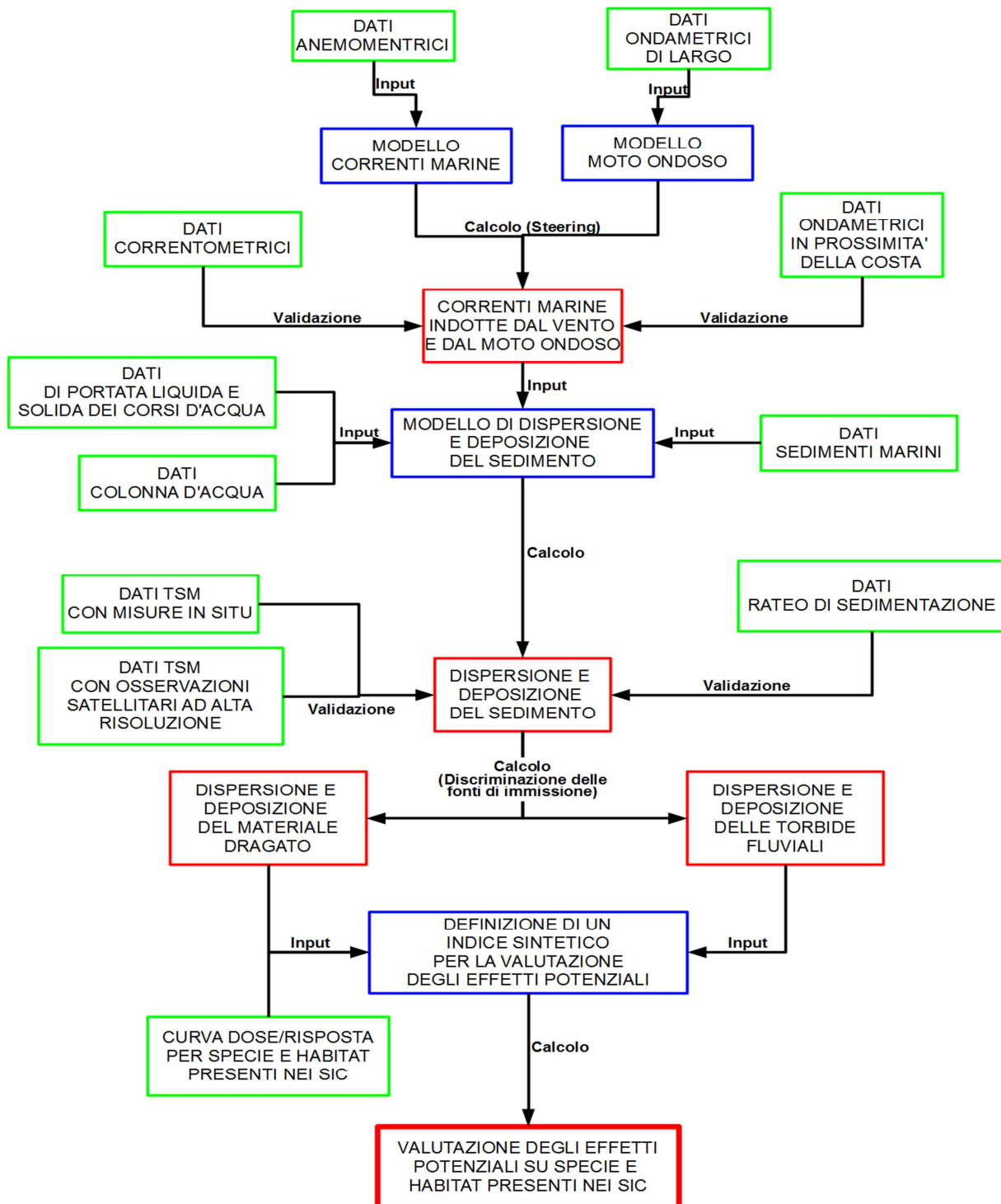
L'obiettivo del presente documento è quello di analizzare l'impatto potenziale delle attività di dragaggio sulle specie e habitat prioritari (Direttiva 92/43/CEE) che si trovano all'interno dei due SIC (Sito di Importanza Comunitaria) ubicati a nord (IT6000005, Fondali tra Punta S. Agostino e Mattonara) e a sud (IT6000006, Fondali tra Punta del Pecoraro e Capo Linaro) del porto di Civitavecchia. Lo scopo del presente lavoro è anche quello di discriminare le diverse fonti di immissione del sedimento in sospensione analizzando separatamente sia gli impatti prodotti dalle operazioni di dragaggio, sia quelli connessi alle torbide fluviali che si verificano dopo intense precipitazioni. Nella fattispecie per attività di dragaggio si intendono quelle relative alla realizzazione delle opere marittime previste dal PRP (Piano Regolatore Portuale) del 2004 che comprende il Prolungamento dell'Antemurale Cristoforo Colombo, la Darsena Sevizi e Traghetti, la Darsena Energetica Grandi Masse e l'apertura del varco a sud.

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

1.5.3. Schema funzionale dello studio

Il progetto P.E.D.A.S (Potential Effects of Dredging Activities on SIC) è costituito da una serie di attività che hanno come obiettivo quello di analizzare e prevedere gli impatti potenziali prodotti dalle attività di dragaggio sulle principali specie ed habitat dell'ecosistema marino costiero. Nello schema 1 viene riportato il diagramma di flusso del progetto in cui viene mostrata la connessione

tra i dati bibliografici, raccolti in situ o da satellite (rettangoli verdi) e modelli matematici (rettangoli blu) che sono utilizzati per calcolare le variabili di interesse (rettangoli rossi).



Schema 3.1 : diagramma di flusso dello studio.

1.5.4. Area di studio

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

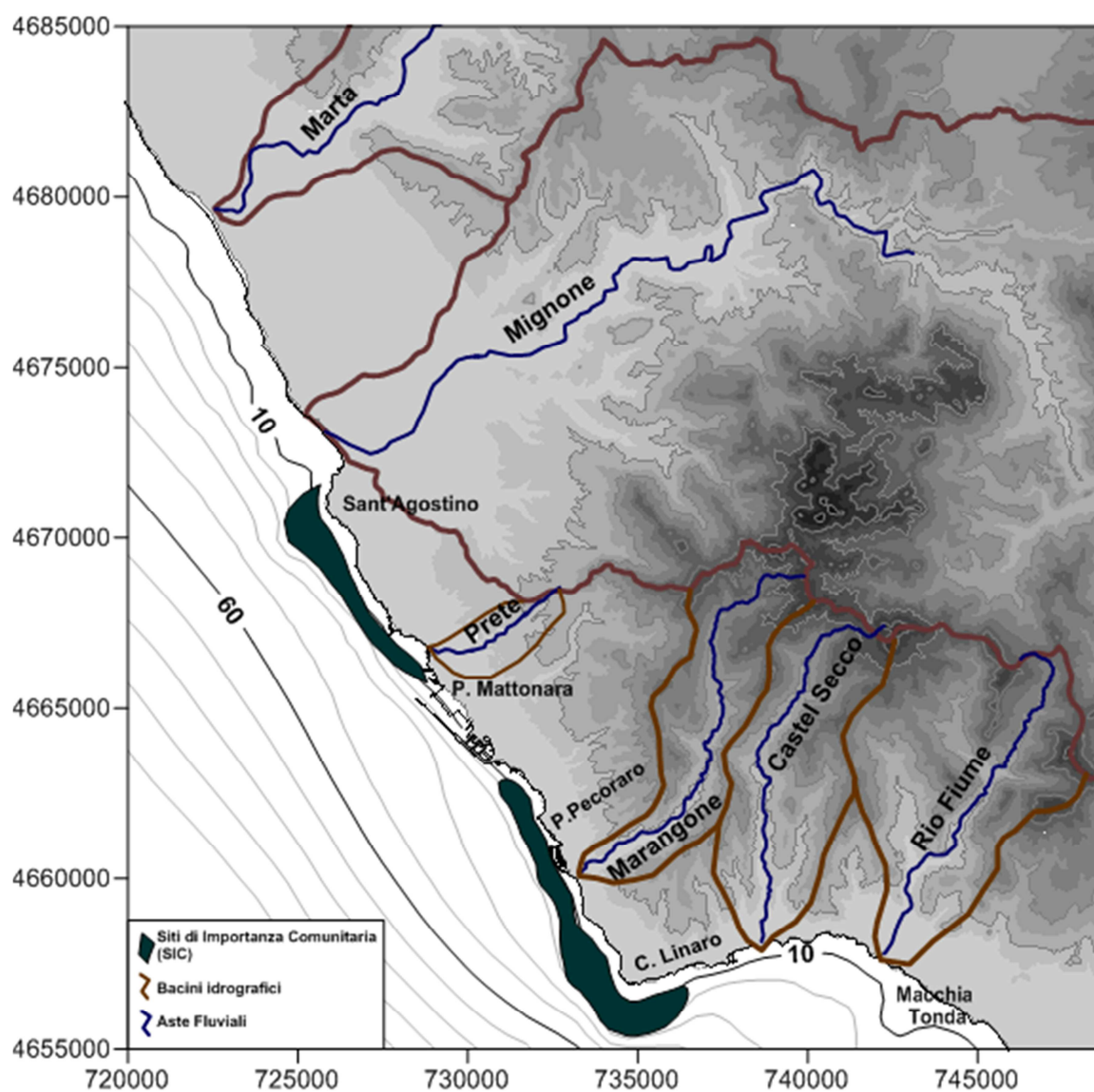


Fig. 4.1: Area vasta che si estende da Marina di Montalto a Torre Flavia all'interno della quale si trovano i SIC IT 6000005 e IT 6000006 (in verde).

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

1.5.4.1. Caratterizzazione geomorfologica

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

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

L'unità fisiografica Capo Linaro-Capo d'Anzio, situata a sud, presenta, fino a Palo Laziale, una successione di promontori ed insenature caratterizzate da piccole spiagge ciottolose ed alimentate dai modesti corsi d'acqua che drenano i versanti meridionali dei Monti della Tolfa e che non

forniscono significativi apporti di materiali terrigeni (La Monica e Raffi, 1996). I fondali sono caratterizzati dalla prevalenza di peliti sabbiose, il cui limite verso terra è legato alla distribuzione delle biocostruzioni. La mancanza di sedimenti a prevalente composizione sabbiosa è dovuta alla mancanza di apporti sedimentari dall'interno e all'azione di blocco delle biocostruzioni sui sedimenti in deriva litoranea da SE. La spiaggia sommersa risente dell'assetto morfologico del tratto emerso ed è caratterizzata dalla presenza di secche (Secche di Macchiatonda, Torre Flavia e Palo), che giungono fino alla profondità di 20m e sulle quali sono presenti praterie di *Posidonia oceanica*. Oltre i 20m, la morfologia dei fondali diventa omogenea e caratterizzata da un progressivo incremento delle pendenze.

1.5.4.2. Caratterizzazione idrologica

I corsi d'acqua presenti lungo l'area di studio possono essere suddivisi in 2 gruppi: i fiumi e i fossi. Le caratteristiche di questi corsi d'acqua sono strettamente dipendenti dalla morfologia dell'entroterra. L'area di studio comprende la porzioni di litorale alla base dei monti della Tolfa un complesso collinare-montuoso che raggiunge i 600 m slm. La porzione di litorale tra Civitavecchia e Santa Marinella è caratterizzata da coste di falesia e terrazzi in cui i rilievi del complesso montuoso suddetto si spingono fin sulla costa determinando un territorio ad elevata pendenza in cui si sviluppano corsi d'acqua di modesta lunghezza, rettilinei e con un regime impulsivo strettamente legato alle piogge. Questi corsi d'acqua sono infatti costituiti da un ambito fisiografico collinare montuoso a ridosso della costa e presentano un regime torrentizio con deflusso di base molto modesto che può addirittura interrompersi durante i periodi di scarsità di pioggia (es. estate) mentre in presenza di precipitazioni subiscono un repentino ingrossamento legato all'intensità dell'evento ed una capacità di erosione e trasporto molto elevata. Procedendo verso nord da Capo Sant'Agostino la morfologia costiera assume un andamento meno acclive con morfotipi di costa di litorale dritto costituiti da sedimento sabbioso trasportato da fiumi intermedi con una struttura complessa suddivisibile in un ambito fisiografico montuoso-collinare ed uno di pianura. Tali corsi d'acqua sono caratterizzati da bacini idrografici di intermedia estensione ($> 400 \text{ km}^2$) con un reticolo idrografico complesso.

- Bacino del fiume Marta:

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

- Bacino del fiume Mignone:

Il bacino idrografico del fiume Mignone ha un estensione di 496 km^2 , l'omonima asta fluviale principale nasce dai Monti Sabatini in località Chiavica, a circa 600 m slm, presenta diversi affluenti

di cui i principali sono il fosso Lenta, il fosso Verginese, il fosso Vesca, Il torrente Canino, il rio Marciano, il torrente Ranchise, il Melledra ed il fosso Vite.

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

Corso d'acqua	Area (km²)	Lunghezza Asta principale (km)	Altezza media (m)	Pendenza (%)
Rio Fiume	43.68	12.4	263	4.24
Castelsecco	30.14	12.5	273	4.36
Marangone	24.82	14.2	256	3.6
F.so del Prete	5.39	4.7	60	2.55
F. Mignone	496	62	263	0.85
F. Marta	1090	54	152	0.56

Tab.4.1 : Caratteristiche bacini idrografici oggetto dello studio

1.5.4.3. Analisi del clima meteomarinario e studio del paraggio

Il regime sedimentario e l'esposizione rispetto agli eventi meteomarini del tratto di costa oggetto di studio cambia tra la parte a nord e quella a sud di Capo Linaro. Il tratto meridionale presenta un'orientazione della perpendicolare alla linea di costa compresa tra SW e SSE, mentre quello settentrionale tra SW e NW. Questa condizione determina una differente situazione idrodinamica tra le due zone quando sono soggette ad uno stesso evento meteomarinario. Il promontorio di Capo Linaro si presenta quindi come il punto più esposto dell'area in esame e risulta rappresentativo per definire il settore di traversia a cui è esposto il tratto di costa oggetto di studio.

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



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

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

- ⤴ Hm0 (metri) altezza d'onda significativa;
- ⤴ Tp (secondi) periodo di picco;
- ⤴ Tm (secondi) periodo medio;

▲ Dm (gradi N) direzione media di propagazione.

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

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

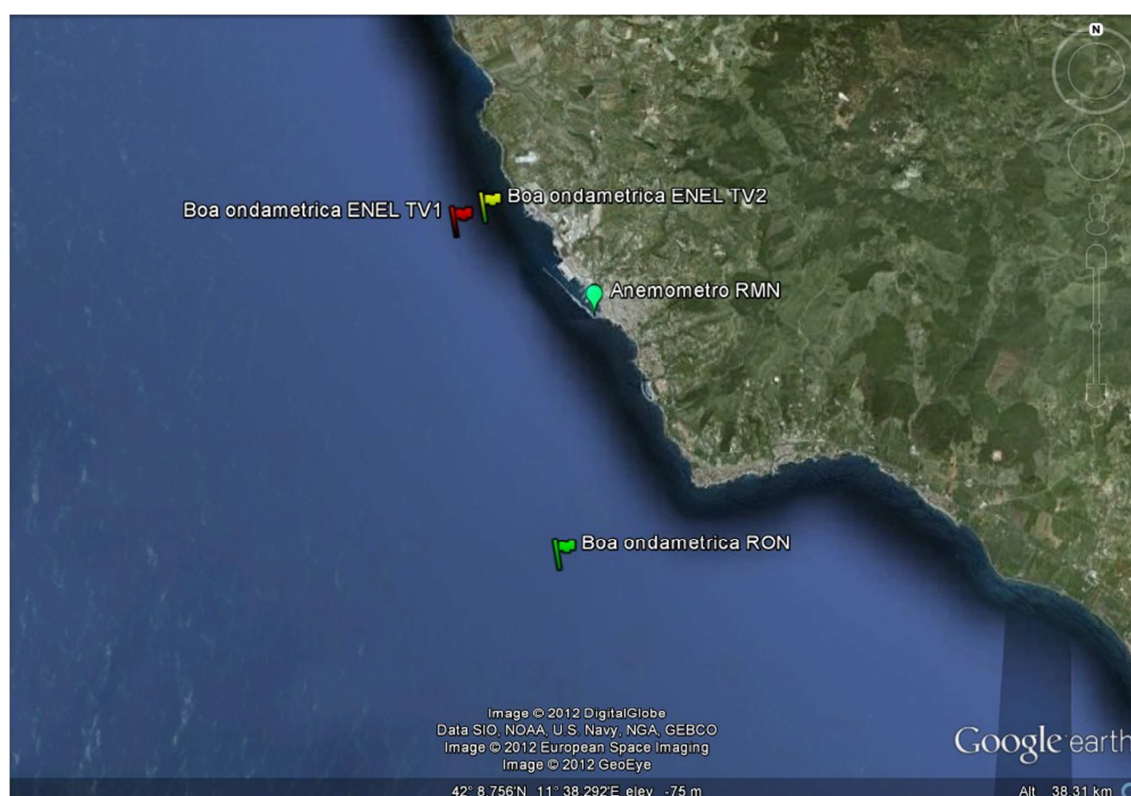


Fig. 4.3 : posizione delle boe ondametriche e della centralina meteo all'interno dell'area di studio

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

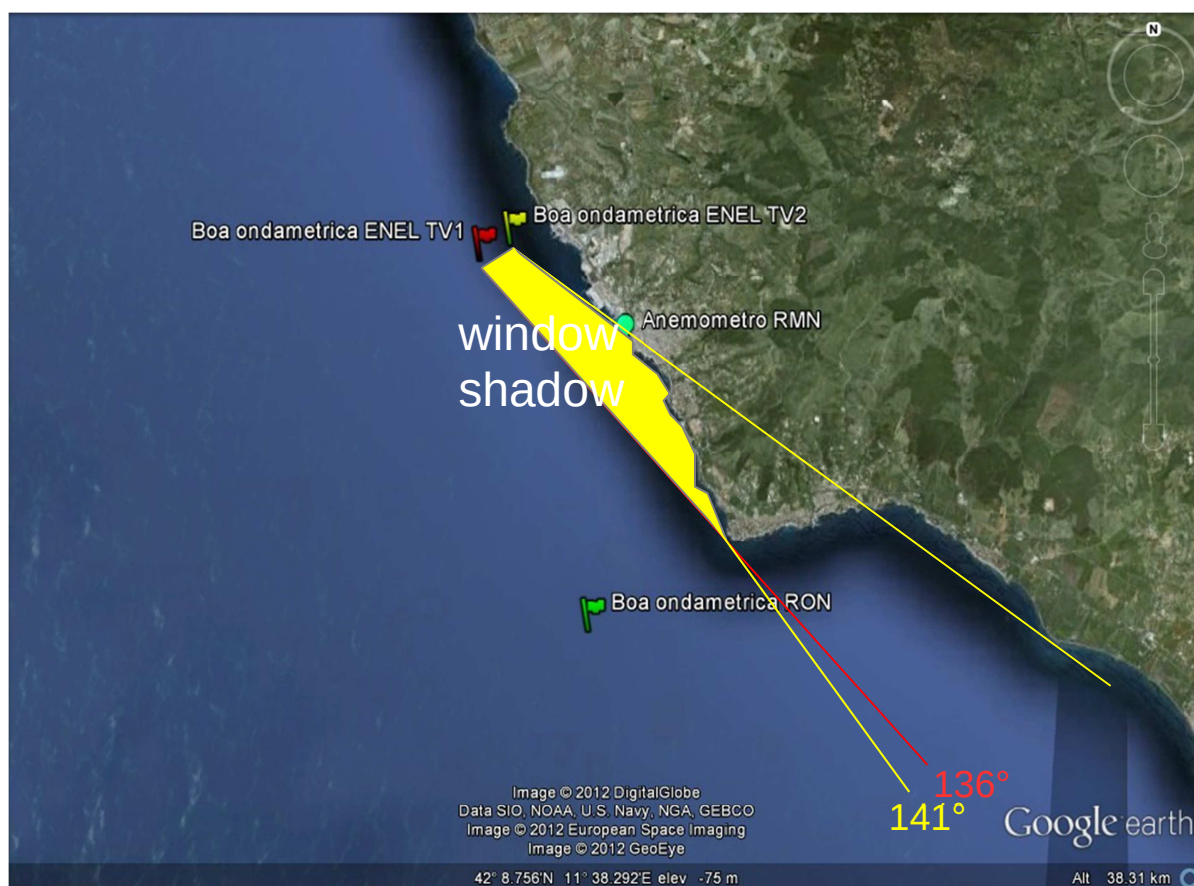


Fig. 4.4 : zona d'ombra delle boe ondametriche di ENEL rispetto agli eventi provenienti dal secondo quadrante

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

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

Ondametro ENEL (Torre Valdaliga)
Anno 1994-1997

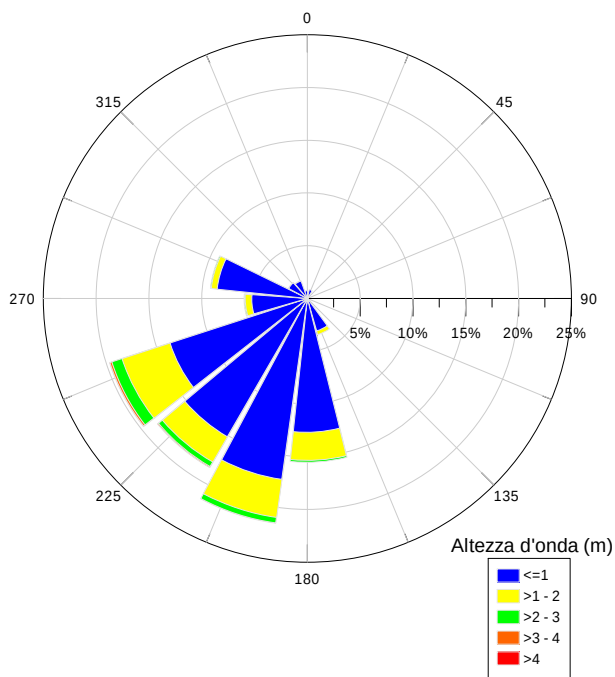


Fig. 4.5 : clima d'onda relativo all'ondametro di Torre Valdaliga (ENEL) nel periodo 1994-1997

Ondametro ENEL (Torre Valdaliga)
Anno 1998-2001

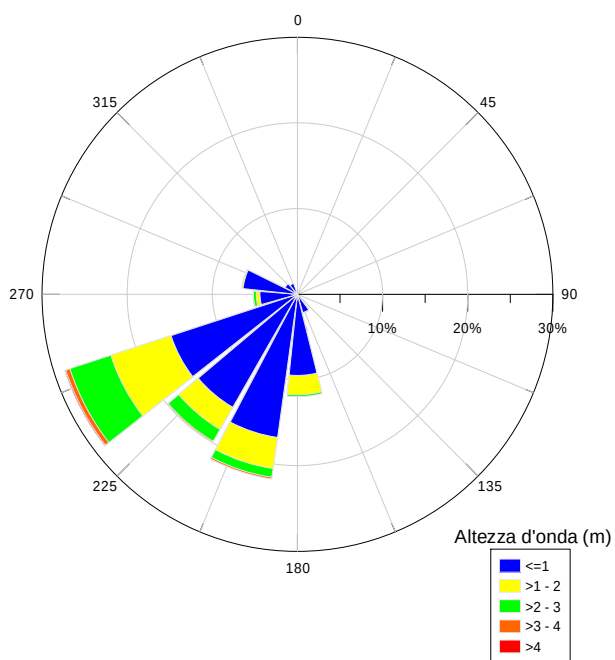


Fig. 4.6 : clima d'onda relativo all'ondametro di Torre Valdaliga (ENEL) nel periodo 1998-2001

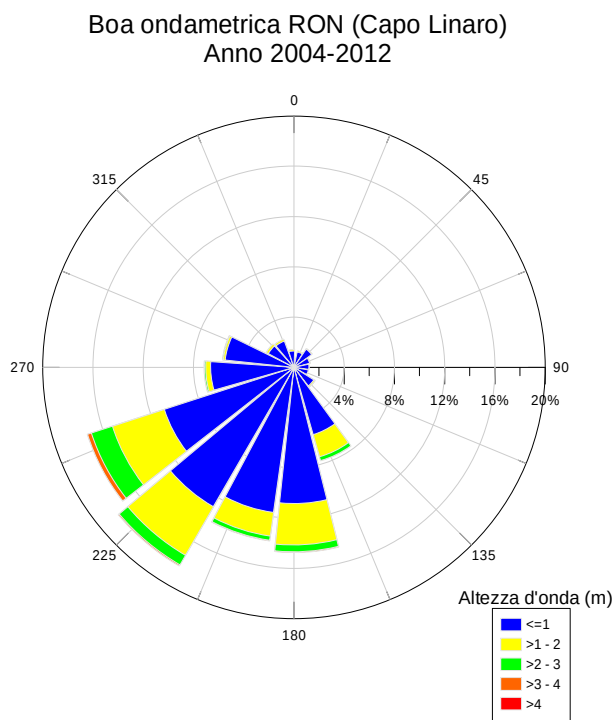


Fig. 4.7 : clima d'onda relativo all'ondametro di Capo Linaro (RON) nel periodo 2004-2012

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

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

L'anemometro RMN di Civitavecchia utilizzato per l'analisi dei dati ha prodotto rilevazioni lungo l'arco temporale compreso tra il 1998 e il 2011. La rappresentazione è avvenuta mediante la costruzione di un clima di vento di seguito riportato (Fig. 4.8).

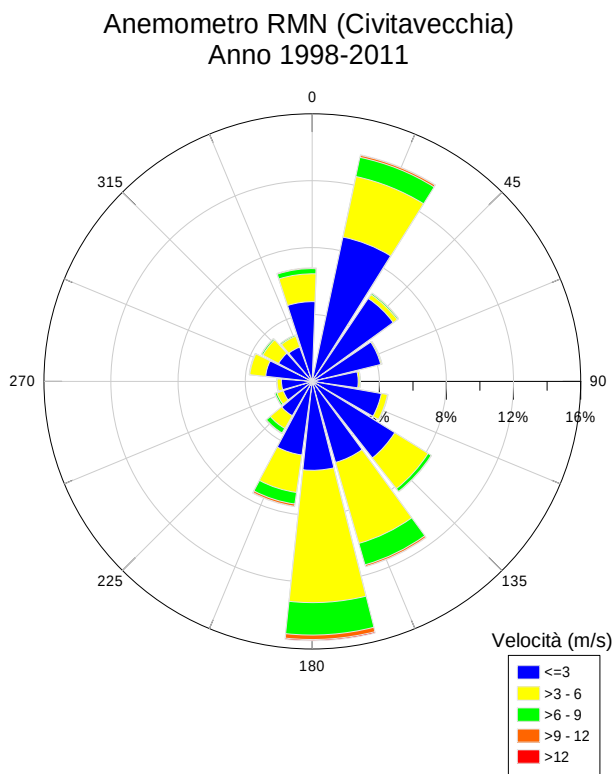


Fig. 4.8 : rosa dei venti relativa all'anemometro di Civitavecchia (RMN) nel periodo 1998-2011

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

1.5.4.4. Analisi del tempo di ritorno degli eventi estremi

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

L'analisi è stata eseguendo i seguenti steps:

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

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

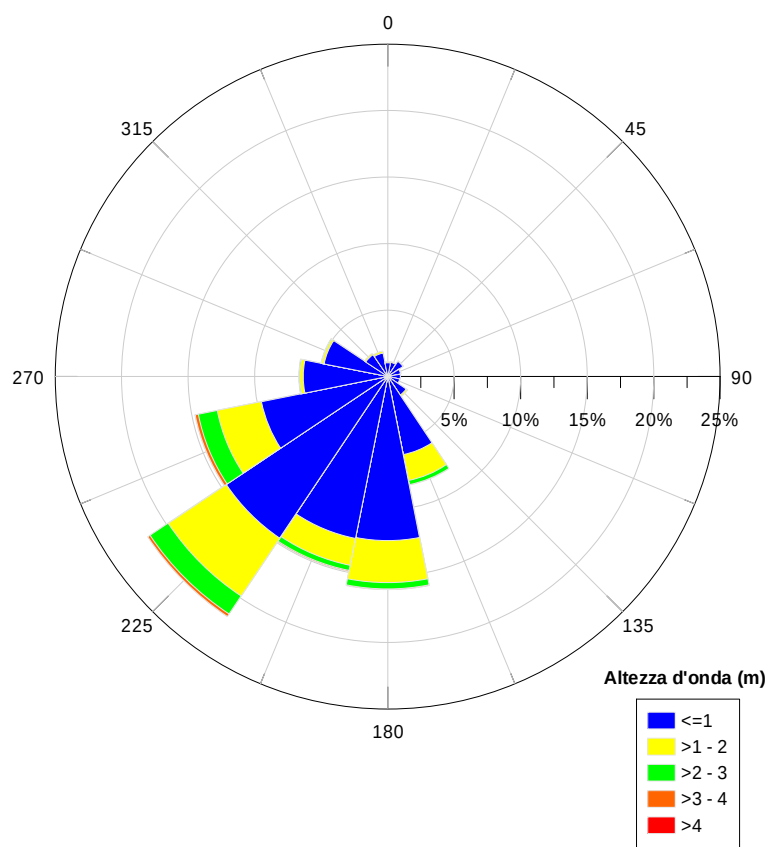


Fig. 4.9 : clima d'onda ottenuto dai dati registrati dall'ondametro di Capo Linaro (RON) e da quelli trasposti delle boe ENEL.

I settori di provenienza sono stati scelti in funzione del settore di traversia di Capo Linaro e della frequenza ed intensità delle mareggiate. In particolare gli intervalli angolari presi in considerazione sono stati: $157^\circ - 202^\circ \text{N}$, $202^\circ - 270^\circ \text{N}$, $270^\circ - 360^\circ \text{N}$. Per la selezione degli eventi da sottoporre all'analisi statistica è stato utilizzato il metodo POT (Peak Over Threshold). I valori soglia attribuiti ai diversi settori direzionali scelti sono: 3m per il settore angolare compreso tra 157° e 202°N , 3.3 m per la direzione compresa tra 202°N e 270°N , 1.10 m per la direzione da 270° a 360°N . Successivamente le serie tronche di dati sono state riferite alle classiche leggi di distribuzione probabilistiche, al fine di determinare il valore di altezza d'onda significativa associato ad un prefissato tempo di ritorno o la probabilità di non superamento durante la vita delle opere.

Le leggi adottate di distribuzione di probabilità cumulata di non superamento sono quella di Weibull (4.1) e quella di Gumbel (4.2).

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

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

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

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

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

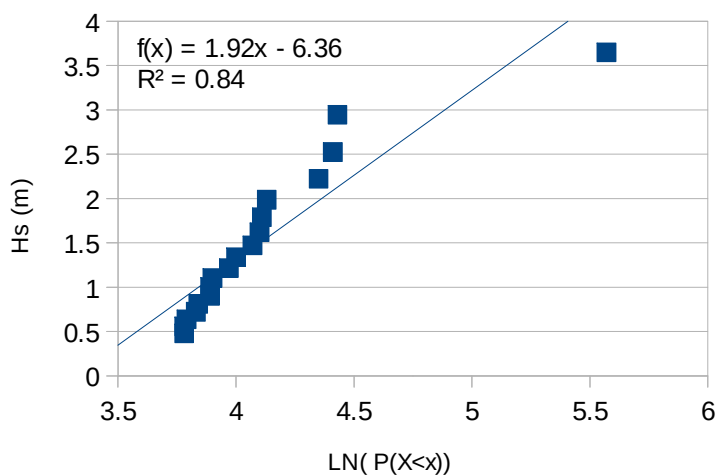


Fig. 4.10 : retta di regressione ottenuta utilizzando la distribuzione di Gumbel

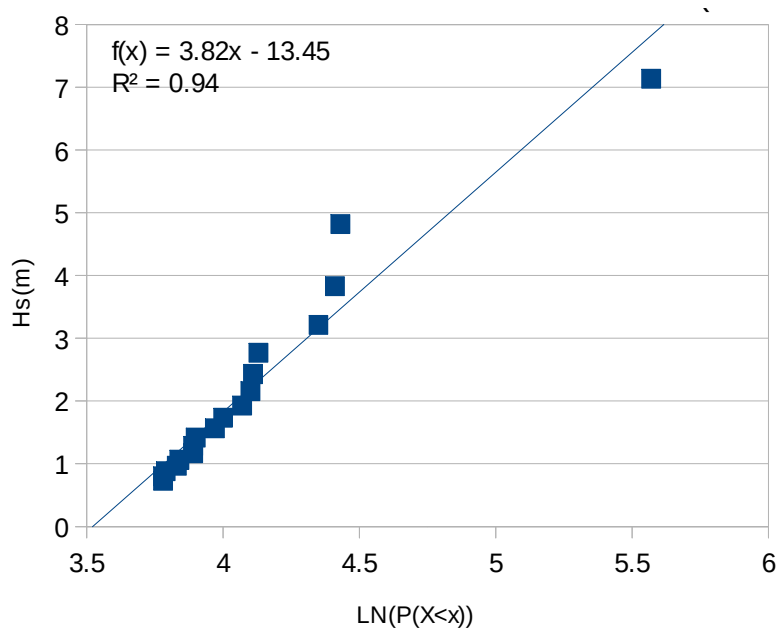


Fig. 4.11 : retta di regressione ottenuta utilizzando la distribuzione di Weibull ($k=0.75$)

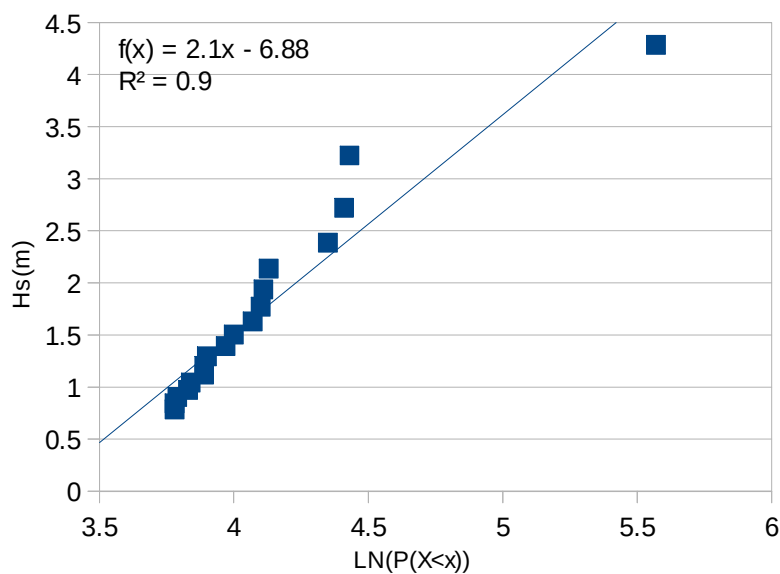


Fig. 4.12 : retta di regressione ottenuta utilizzando la distribuzione di Weibull ($k=1$)

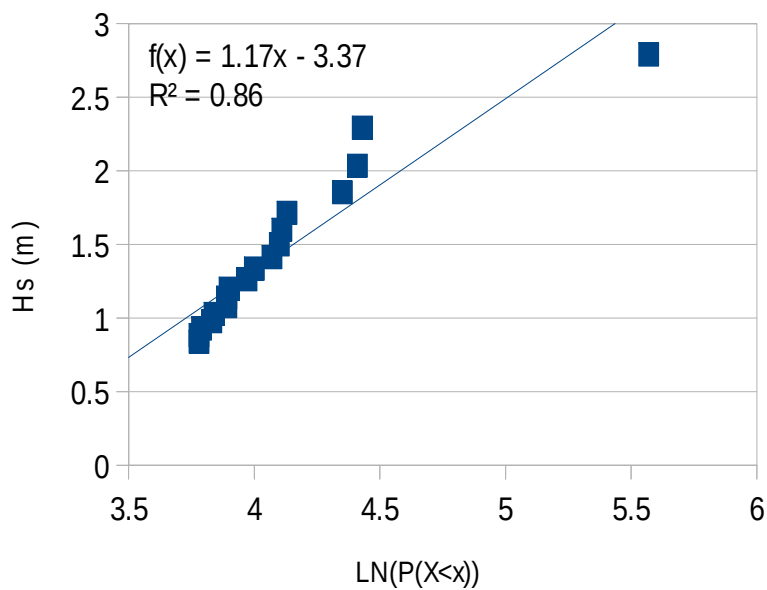


Fig. 4.13 : retta di regressione ottenuta utilizzando la distribuzione di Weibull ($k=1.4$)

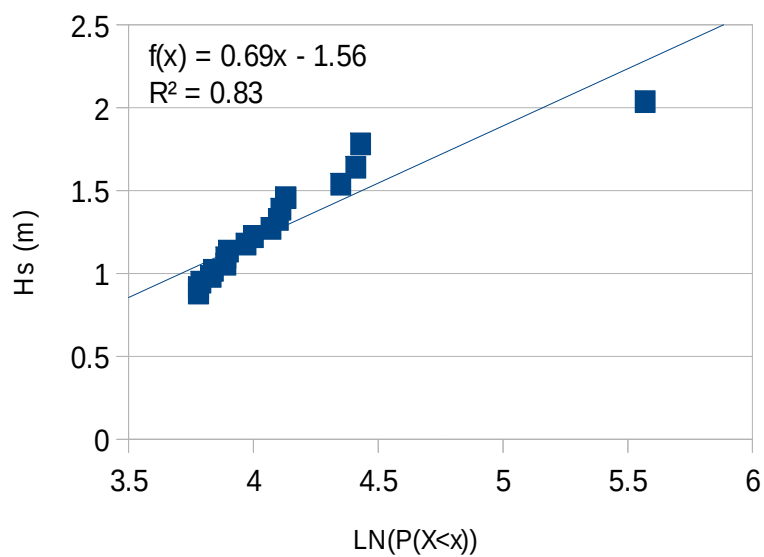


Fig. 4.14 : retta di regressione ottenuta utilizzando la distribuzione di Weibull ($k=2$)

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

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

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

1.5.4.5. Pesca nel compartimento marittimo di Civitavecchia

La flotta peschereccia di Civitavecchia, dal punto di vista amministrativo, fa parte di uno dei tre compartimenti marittimi regionali dislocati nella costa laziale. Attualmente risultano attive 13 imbarcazioni, aventi una lunghezza fuori tutto, mediamente, di circa 20 metri. La tipologia di pesca ricade essenzialmente in quella che viene definita pesca a strascico, dove le specie catturate sono, in genere e comunque sempre prevalentemente, bentoniche e demersali. All'interno della marineria, tuttavia, in base alla specie bersaglio principali, e quindi in base alla quota batimetrica e all'area in cui viene esercitata l'attività di pesca, possiamo distinguere, sulla base di indagini dirette e interviste ai pescatori, una suddivisione in "pesca superficiale" e "pesca profonda". Nel primo caso, che è anche quello decisamente più diffuso, la pesca viene effettuata a pochissime miglia dalla costa, a quote batimetriche generalmente comprese tra i 70 e i 120 metri. Le principali specie bersaglio, tutte di elevato valore commerciale, sono, sia in termini di numero di individui che di biomassa, il Nasello (*Merluccius merluccius*), la Triglia di Fango (*Mullus barbatus*), il Moscardino (*Eledone spp.*) e il Gambero Rosa (*Parapaenaeus longirostris*). Altre specie catturate in abbondanza risultano essere l'acciuga (*Engraulis encrasicolus*), il Merluzzetto (*Trisopterus minutus*), Totani (generi *Todarodes*, *Illex* e *Todaropsis*), Calamari (*Loligo vulgaris*) e, in minor misura, ma con elevato valore commerciale, la rana pescatrice (*Lophius spp.*). Nella tipologia di pesca a strascico che abbiamo definito "profonda", invece, la specie bersaglio è essenzialmente rappresentata da un'unica specie, lo Scampo (*Nephrops norvegicus*). Tale tipologia di pesca viene esercitata a quote batimetriche nettamente superiori rispetto alla pesca costiera, comprendendo, in genere, la fascia di profondità compresa tra i 250 e i 500 metri. Come distanza dalla costa, spesso tali imbarcazioni operano anche oltre le 20 miglia nautiche. È opportuno comunque sottolineare che i pescherecci che si dedicano a quest'ultima tipologia di pesca sono in numero molto esiguo e in taluni periodi è addirittura un'unica imbarcazione a esercitare la pesca mirata agli scampi. In definitiva, per quanto riguarda le aree battute dalla pesca a strascico di Civitavecchia, possiamo dire che queste comprendono una distanza di pesca che va da 2-3 miglia

fino a oltre 20 miglia dalla costa, mentre il range batimetrico è compreso tra i 70 e i 500 metri. Il tratto di mare normalmente battuto e interessato dalle attività di pesca ricade nel tratto prospiciente la costa compreso tra Santa Marinella e Tarquinia. Il pescato totale medio giornaliero, espresso in kg, è di 87.76 kg per quanto riguarda la “pesca superficiale” e di 101.72 kg per la “pesca profonda”. Esaminando alcuni dati sulla marineria e sulla pesca a partire dagli anni 2010 - 2011, non si riscontrano significative differenze per quanto riguarda la situazione della pesca e lo sfruttamento delle risorse alieutiche (ad eccezione di un decremento più o meno significativo avvenuto nell’anno 2012). Mentre, per quanto riguarda la composizione della flotta peschereccia locale, è stata registrata una diminuzione del numero delle imbarcazioni attive operanti con lo strascico: si è infatti passati da 19 imbarcazioni attive del 2010 alle attuali 13 nell’anno 2015. Inoltre, dai dati raccolti negli ultimi anni e da interviste dirette ai pescatori non si sono registrati particolari e/o significativi effetti negativi per la pesca collegati alle operazioni di dragaggio di fine 2012 – inizio 2013, che avrebbero potuto impattare negativamente soprattutto su quelle specie che all’interno delle praterie di *Posidonia oceanica* trovano aree di rifugio o di nursery, nonché siti abituali od occasionali utilizzati per l’alimentazione e/o la riproduzione.

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

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

1.5.5. Materiali e metodi

1.5.5.1. Raccolta dati in-situ

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

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

1.5.5.1.1. Rilievo idrologico

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

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

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

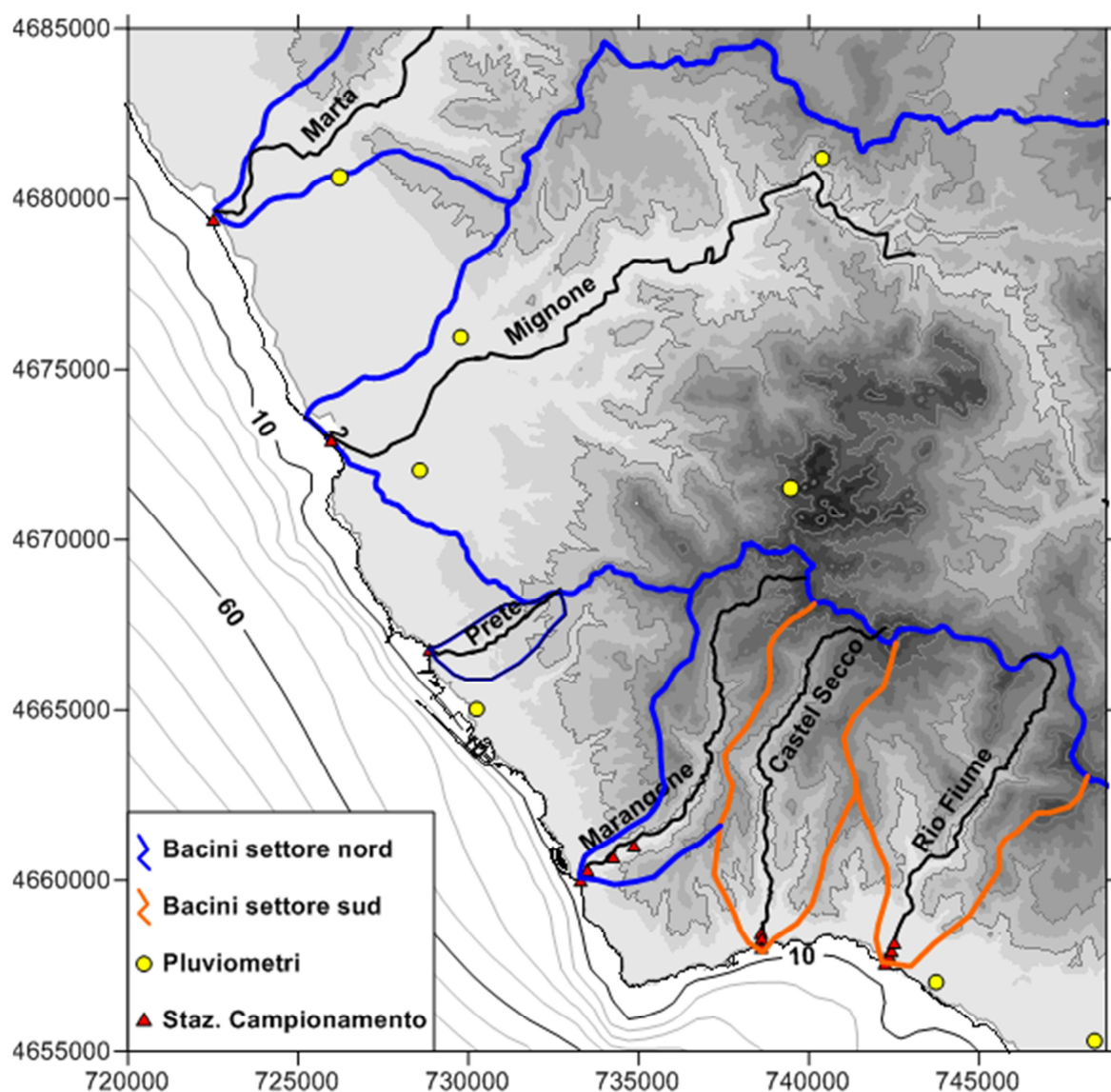


Fig. 5.1: Area di studio i cui sono riportati i corsi d'acqua analizzati, i relativi bacini idrografici, le stazioni di campionamento e i pluviometri.

La stima del trasporto solido verrà effettuata attraverso metodi indiretti che saranno supportati da campagne di misura in situ utili alla determinazione delle principali caratteristiche dei corsi d'acqua analizzati. Il criterio di scelta dei corsi d'acqua si è basato sul trasporto solido fluviale e sul potenziale impatto sui SIC IT6000005 e IT6000006 che si estendono fino ad una profondità di circa 40 m. Sono stati presi in considerazione i principali corsi d'acqua presenti lungo l'area di studio. Dall'analisi sono stati esclusi il fiume Tevere a sud e il fiume Fiora a nord in quanto, anche se presentano una elevata portata liquida e solida, sono stati considerati elementi che non influenzano il regime sedimentario dei SIC (circa 60 km). Inoltre è stato dimostrato che il materiale fine del Tevere deposita nella parte a largo della zona di indagine (su fondali maggiori di 50 m) (Brondi et al., 2008), mentre il trasporto dei sedimenti del Fiora avviene principalmente verso nord, allontanandosi dall'area di studio (Noli et al., 1996).

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

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

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

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

1.5.5.1.1.1. Stima della portata liquida e solida degli apporti fluviali

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

Inizialmente è necessario stimare il tempo di corrivazione (T_c), definito come il tempo di deflusso dell'evento meteorologico (hr), applicando la formulazione di Giandotti:

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

dove: A = area del bacino idrografico (km²)

L = lunghezza asta fluviale principale (km)

H = altezza media del bacino idrografico (m)

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

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

dove: Q = portata liquida (m^3/s)

mm = mm di pioggia

C = coefficiente di afflusso

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

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

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

Prendendo in considerazione la morfologia delle sezioni misurate dell'alveo è stata stimata la perdita di carico totale determinata dalla relazione:

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

dove: Cz = Coefficiente di Chezy

Ω = area della sezione liquida (m^2)

g = gravità (m/s)

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

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

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

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

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

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

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

I valori applicabili sono riportati in tabella 5.2.

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

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

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

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

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

V = velocità della corrente (m/s)

V_{cr} = velocità critica (m/s)

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

h = profondità del corso d'acqua

La velocità critica (V_r) e D sono stimati attraverso le seguenti relazioni:

$$V_{cr} = 0.19 D_{50}^{0.1} \log(4h / D_{90}) \quad \text{se } 0.1\text{mm} < D_{50} < 0.5\text{mm} \quad (5.7)$$

$$V_{cr} = 8.5 D_{50}^{0.6} \log(4h / D_{90}) \quad \text{se } 0.5\text{mm} < D_{50} < 2\text{mm} \quad (5.8)$$

$$D = [g(s-1)/\nu^2]^{0.33} D_{50} \quad (5.9)$$

dove ν = coefficiente di viscosità cinematica.

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

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

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

1.5.5.1.1.2 Campionamento del sedimento dell'alveo fluviale

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

1.5.5.1.2. Rilievo correntometrico

La caratterizzazione correntometrica della colonna d'acqua è stata effettuata attraverso 4 campagne di misura, 2 nell'area sud, in corrispondenza del SIC IT6000006 tra Punta del Pecoraro e

Capo Linaro e 2 nell'area nord, in corrispondenza del SIC IT6000005 tra Punta S. Agostino e la Mattonara. In ogni area sono state effettuate 10 stazioni di misura nei punti riportati nelle tabelle 5.3 e 5.4.

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

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

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

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

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



Fig. 5.2: Sontek ADCP 500 kHz

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

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

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

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

Stazione	Longitudine	Latitudine	Profondità stazione (m)
SM01	11.7948	42.0818	14.0
SM02	11.7988	42.0773	10.6
SM03	11.8034	42.0691	11.4
SM04	11.7991	42.0628	33.8
SM05	11.8104	42.0564	12.0

SM06	11.8147	42.0447	17.4
SM07	11.8194	42.0345	8.9
SM08	11.8169	42.0253	34.6
SM09	11.8319	42.0212	10.4
SM10	11.8499	42.0218	9.8

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

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



Fig. 5.3: Sonda multiparametrica utilizzata nel campionamento

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

L'indice di stato trofico TRIX è individuato dal D.Lgs. 152/99 e s.m.i. per definire lo stato di qualità delle acque marino costiere. Il suo valore numerico è dato da una combinazione di quattro

variabili (Ossigeno disciolto, Clorofilla *a*, Fosforo totale e Azoto inorganico disciolto), indicative delle principali componenti che caratterizzano la produzione primaria degli ecosistemi marini (nutrienti e biomassa fitoplanctonica), ed è stato messo a punto per esprimere le condizioni di trofia e del livello di produttività delle aree costiere. I valori di TRIX sono raggruppati in 4 fasce, alle quali corrispondono 4 diverse classi di qualità rispetto alle condizioni di trofia e, quindi, allo stato ambientale dell'ambiente marino costiero (Scala Trofica). In questo modo è possibile misurare i livelli trofici in termini rigorosamente quantitativi, nonché confrontare differenti sistemi costieri.

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

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

dove *cha* è il valore di Clorofilla *a* in mg/m³, DO% è la percentuale di ossigeno disciolto espresso come variazione in valore assoluto dalla saturazione, N è l'azoto solubile (N-NO₃, N-NO₂, N-NH₃) in µg/l e P è il fosforo totale.

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

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

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



Fig. 5.5: Prelievo campioni superficiali

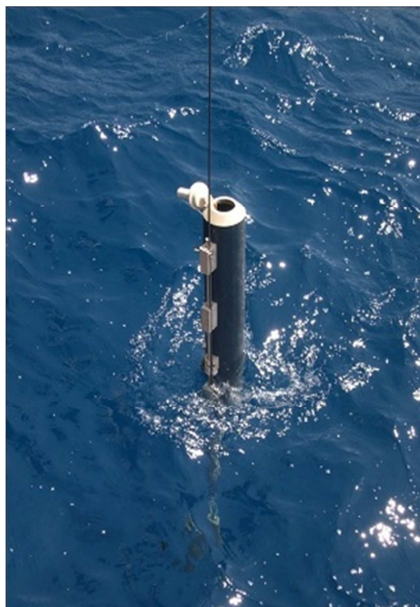


Fig. 5.6: Prelievo campioni profondi con bottiglia Niskin

I campioni prelevati sono stati mantenuti all'interno di specifici contenitori alla temperatura di 4°C e trasportati presso il Laboratorio di Oceanologia Sperimentale ed Ecologia Marina per le successive analisi (Lorenzen 1967, IRSA CNR).

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

1.5.5.1.4. Stima del rateo di sedimentazione nei SIC

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

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

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

Tab.5.7 : Coordinate delle stazioni di campionamento.

Per la realizzazione delle trappole sono stati scelti dei cilindri in plexiglass con rapporto d'aspetto pari a 6.3 (54 mm di diametro) seguendo le raccomandazioni di Hardgrave and Burns (1979) e Blomquist and Hakanson (1981). Le trappole sono state posizionate all'interno dei rispettivi SIC mediante l'utilizzo di aste in ferro di lunghezza complessiva di 1.3 m, appositamente collocate sul substrato da sommozzatori qualificati. Una volta posizionate le aste, ciascuna trappola per sedimento è stata ancorata ad esse ad una distanza massima di 40 cm dal fondo.

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

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

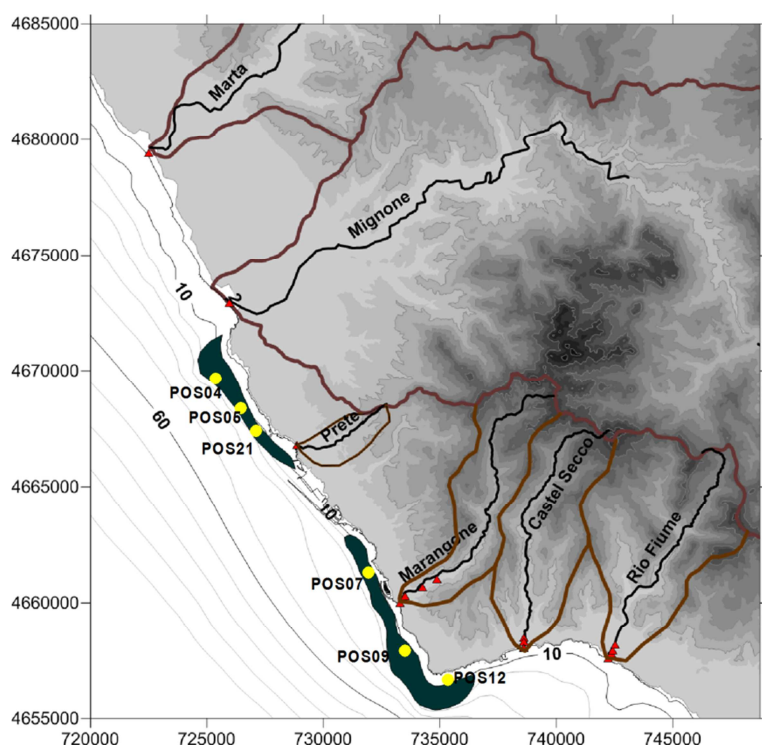


Fig.5.7: Ubicazione delle stazioni di campionamento all'interno delle due praterie di *P.oceanica* considerate

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

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

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

filtrazione è stato sostituito con la diretta stima del peso secco del campione di sedimento a seguito di asciugatura diretta in stufa.

Il peso secco relativo al contenuto di ogni trappola del sedimento è stato quindi utilizzato per ricavare il valore di rateo deposizionale di sedimento nell'area, espresso in $\text{g/m}^2/\text{d}$.

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

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

Dove R_d è il rateo sedimentario giornaliero [$\text{g/m}^2/\text{d}$], M è il peso secco del sedimento prelevato dalla trappola, K è il rapporto tra 1 e la superficie di apertura della trappola e t è il tempo di campionamento espresso in giorni. La stima del rateo annuale pelitico è stata effettuata moltiplicando il relativo valore per 365.

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

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

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

Per la misura della densità assoluta dei fasci fogliari (per m^2), utile per la caratterizzazione spaziale della prateria, vengono effettuate 3 conte *in situ* all'interno di un quadrato 40x40 cm.

Per l'analisi dei parametri funzionali della pianta, sono state eseguite le analisi fenologiche su 2 campioni per ciascuna delle 6 stazioni fisse di monitoraggio. Seguendo la classificazione proposta da Giraud (1977) per *Posidonia oceanica* e applicata anche alle altre fanerogame del Mediterraneo, si riconoscono 3 ranghi fogliari:

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

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

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

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

1.5.5.1.5. Analisi sedimentologiche e mineralogiche

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

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

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

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

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

I campioni vengono infine controllati al microscopio ottico per verificarne lo spessore e la planarità.

Le sezioni sottili vengono successivamente esaminate mediante osservazione al microscopio a luce polarizzata.

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

1.5.5.2. Modelli matematici

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

1.5.5.2.1. Modello idrodinamico DELFT3D-FLOW

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

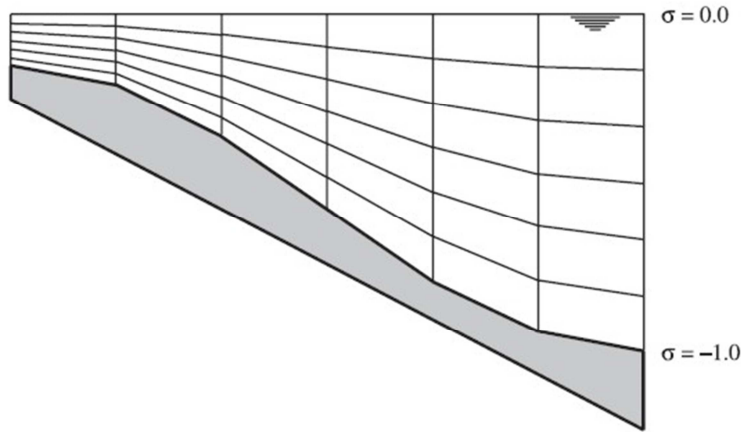


Fig. 5.8 : Un esempio di griglia verticale consistente di sei strati σ di uguale spessore.

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

L'equazione idrostatica

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

$$\frac{\partial \mathcal{P}}{\partial \sigma} = -\rho \cdot g \cdot h \quad (5.12)$$

Le equazioni della quantità di moto orizzontali

Le equazioni della quantità di moto orizzontale sono:

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + v \frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\varpi}{h} \frac{\partial U}{\partial \sigma} - fV = -\frac{1}{\rho_0} P_x + F_x + M_x + \frac{1}{h^2} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(v_v \frac{\partial u}{\partial \sigma} \right) \quad (5.13)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\varpi}{h} \frac{\partial V}{\partial \sigma} - fU = -\frac{1}{\rho_0} P_y + F_y + M_y + \frac{1}{h^2} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(v_v \frac{\partial v}{\partial \sigma} \right) \quad (5.14)$$

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

$$\frac{1}{\rho_0} P_x = g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + g \int_{\sigma}^0 \left(\frac{\partial \rho}{\partial x} + \frac{\partial \sigma'}{\partial x} + \frac{\partial \rho}{\partial \sigma'} \right) d\sigma' \quad (5.15)$$

$$\frac{1}{\rho_0} P_y = g \frac{\partial \zeta}{\partial y} + g \int_{\sigma}^0 \left(\frac{\partial \rho}{\partial y} + \frac{\partial \sigma'}{\partial y} + \frac{\partial \rho}{\partial \sigma'} \right) d\sigma' \quad (5.16)$$

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

$$F_x = \nu_H \left(\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \right) \quad F_y = \nu_H \left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} \right) \quad (5.17)$$

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

L'equazione di continuità

L'equazione di continuità è data da:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial [h\bar{U}]}{\partial x} + \frac{\partial [h\bar{V}]}{\partial y} = S \quad (5.18)$$

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

L'equazione del trasporto

L'equazione di avvezione-diffusione si scrive:

$$\frac{\partial[h c]}{\partial t} + \frac{\partial[h U c]}{\partial x} + \frac{\partial[h V c]}{\partial y} + \frac{\partial[h \omega c]}{\partial \sigma} = h \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(D_H \frac{\partial c}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_H \frac{\partial c}{\partial y} \right) \right] + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[D_V \frac{\partial c}{\partial \sigma} \right] + h S \quad (5.19)$$

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

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

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

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

Modelli di chiusura turbolenta

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

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

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

1.5.5.2.2. Modello di moto ondoso SWAN

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

Nelle situazioni in cui il livello dell'acqua, la batimetria o il campo di velocità cambiano significativamente durante la simulazione del modello DELFT3D-FLOW, sarebbe opportuno richiamare più volte il modello DELFT3D-WAVE. Il campo d'onda computato può quindi essere aggiornato tenendo conto del cambiamento di profondità e delle velocità della corrente. Questo tipo di funzione è resa possibile grazie al processo di "steering" che richiama in maniera alternata il modello idrodinamico e quello di moto ondoso.

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

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

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

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

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

I processi (3), (4) e (5) sono stati inclusi di recente nel DELFT3D-FLOW e sono fondamentali se

l'effetto delle onde sul flusso viene correttamente rappresentato nelle simulazioni 3D. Tali fenomeni risultano importanti anche nei modelli di trasporto in prossimità della costa.

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

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

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

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

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

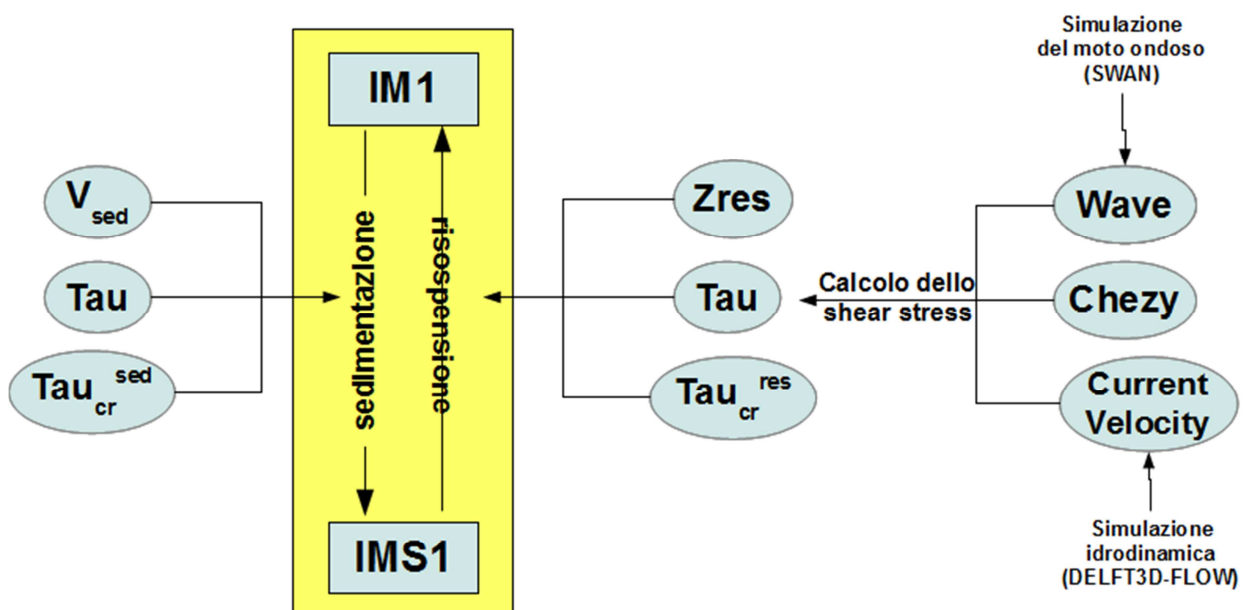


Fig.5.9 : schema che identifica le variabili e i parametri di input del modello DELFT3D-WAQ per riprodurre i processi di sedimentazione e risospensione (zona gialla) del sedimento.

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

La sedimentazione di IM1 dipende dallo shear stress ambientale (τ) e dallo shear stress critico per la sedimentazione (τ_{cr}^{sed}). Se τ risulta minore di τ_{cr}^{sed} si verifica il processo di sedimentazione:

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

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

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

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

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

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

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

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

$$Tau = Tau_{veloc} + Tau_{waves} \quad (5.26)$$

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

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

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

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

$$Secchidepth = \frac{PA}{Ext_{VI}} \quad (5.29)$$

$$Ext_{VI} = Ext_{VI}^{Back} + Ext_{VI}^{IM1} \times (IM1) \quad (5.30)$$

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

1.5.5.2.4. Set-up delle simulazioni

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

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

Tab 5.8 : Scenari simulati

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

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

La velocità e la direzione del vento vengono inserite in input nel modello DELFT3D-FLOW mentre i parametri d'onda vengono utilizzati nel modello SWAN per riprodurre la propagazione dell'onda verso costa. Entrambi i modelli utilizzano una griglia curvilinea alle differenze finite con una maggiore risoluzione spaziale nella zona del porto di Civitavecchia e nelle aree costiere occupate

dai SIC. Il dominio di calcolo si estende lungo il tratto di costa compreso tra Montalto di Castro, a nord, e Torre Flavia, a sud, e nella zona a largo fino alla batimetrica dei – 400 m circa. La griglia del modello DELFT3D-FLOW è costituita da 10 strati verticali di spessore costante. Ogni scenario proposto ha una durata complessiva di 3 giorni in cui la velocità e la direzione del vento vengono mantenute costanti. Il modello SWAN riproduce in modo stazionario la propagazione del moto ondoso partendo da parametri, quali l'altezza d'onda significativa, il periodo di picco e la direzione media, che vengono assegnati nel boundary di largo. Il campo idrodinamico indotto da vento e moto ondoso è ottenuto attraverso un processo di steering tra il modello DELFT3D-FLOW e il modello SWAN.

Le correnti marine ottenute dall'interazione tra i due modelli vengono fornite in input al modello di dispersione DELFT3D-WAQ che simula la dispersione, e i processi di sedimentazione e risospensione del sedimento proveniente dai corsi d'acqua presenti nella zona di studio (par. 5.1.1) e prodotto dalle attività di dragaggio nel porto di Civitavecchia. Per ogni scenario meteomarinario definito in tabella xx sono state effettuate 4 simulazioni che riproducono il rilascio di materiale da:

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

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

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

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

dove W è la portata massica di sedimenti risospesi [kg/s], R è il fattore di risospensione [%], f è la frazione delle particelle $<0.074\text{mm}$, Q è la portata in secco della draga [m^3/s], e C è la densità in secco dei sedimenti [kg/m^3]. Visto che la draga che viene utilizzata principalmente durante le operazioni di rimozione del sedimento è quella idraulica, il valore del tasso di risospensione (R) è stato posto pari a 0.77 % in accordo con quanto stabilito in Anchor Environmental (2003). La frazione di materiale $<0.074\text{mm}$ è di circa 8.87% ed è stata stimata a partire dai dati sedimentologici relativi alla caratterizzazione dei fondali marini antistanti l'imboccatura del porto di Civitavecchia. E' stata inoltre ipotizzata che la densità del sedimento presente nelle aree soggette alle attività di dragaggio è di $2650 \text{ kg}/\text{m}^3$. Dall'analisi dei volumi totali dei materiali dragati per la costruzione delle due opere è stato ipotizzato un rilascio di $0.314 \text{ kg}/\text{s}$ per riprodurre le attività di dragaggio relative al 1 Lotto Funzionale, di $1.492 \text{ kg}/\text{s}$ per riprodurre quelle relative alla Darsena Energetica Grandi Masse e di $0.174 \text{ kg}/\text{s}$ per riprodurre quelle relative al 2 Lotto Funzionale.

1.5.5.3. Indice sintetico per la stima degli impatti

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

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

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

Per ognuno degli scenari proposti sono state effettuate 14 simulazioni che sono rappresentative delle condizioni meteomarine presenti nell'area oggetto di studio. Gli input delle simulazioni (direzione e velocità del vento, altezza, periodo e direzione dell'onda) sono stati selezionati a

partire dai dati di vento e moto ondoso raccolti nell'area di studio negli ultimi 10 anni. La scelta delle simulazioni ha riguardato due fasi distinte:

- ✦ nella prima fase il dataset delle condizioni meteomarine è stato ridotto scegliendo quegli intervalli di tempo in cui i fiumi apportano una quantità significativa di sedimento a mare;
- ✦ nella seconda fase sono stati selezionati gli input delle simulazioni applicando sui dati rimanenti una distribuzione di probabilità condizionata attraverso la quale sono stati selezionati nell'ordine: direzione del vento, direzione del moto ondoso, altezza d'onda e velocità del vento (Il periodo dell'onda è stato calcolato utilizzando la relazione $Tp = 4.51 \cdot \sqrt{Hs}$).

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

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

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

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

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

In questo studio i valori di solido sospeso e del tasso di sedimentazione che delimitano le tre classi di impatto sono stati scelti in maniera arbitraria, senza tener conto delle soglie critiche per la sopravvivenza della *Posidonia oceanica*, della *Pinna nobilis* e delle biocostruzioni coralligene che allo stato attuale delle conoscenze non risultano ancora ben definiti. Di conseguenza i risultati

dell'indice D3I definiscono quale tra le quattro sorgenti considerate ha una maggiore probabilità di impatto all'interno dei due SIC analizzati.

1.5.6. Risultati

1.5.6.1. Analisi del trasporto fluviale

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

1.5.6.1.1. Morfologia degli alvei fluviali

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

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

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

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

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

La sezione d'alveo misurata sul Fiume Mignone, inserito in ambito fisiografico di pianura, indicano un corso d'acqua non confinato a canale singolo sinuoso con materiale di fondo sabbioso. La profondità a centro alveo è di circa 4 metri.

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

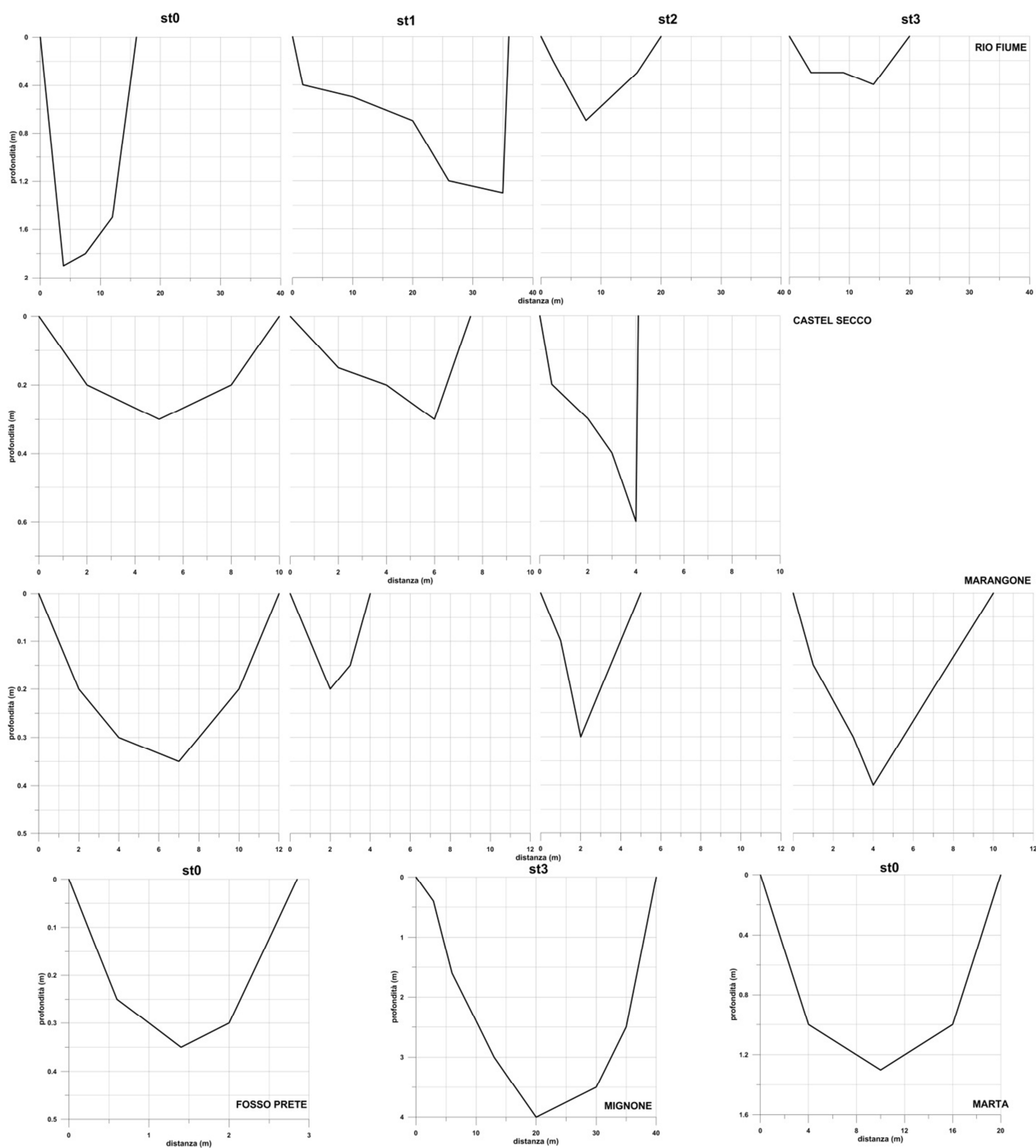


Fig. 6.1: Sezioni trasversali dei corsi d'acqua analizzati. La dicitura st0,st1 etc. indica le progressive sezioni verso monte ad una distanza di circa 500 m.

1.5.6.1.2. Analisi sedimentologica e mineralogica dei campioni fluviali

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

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

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

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

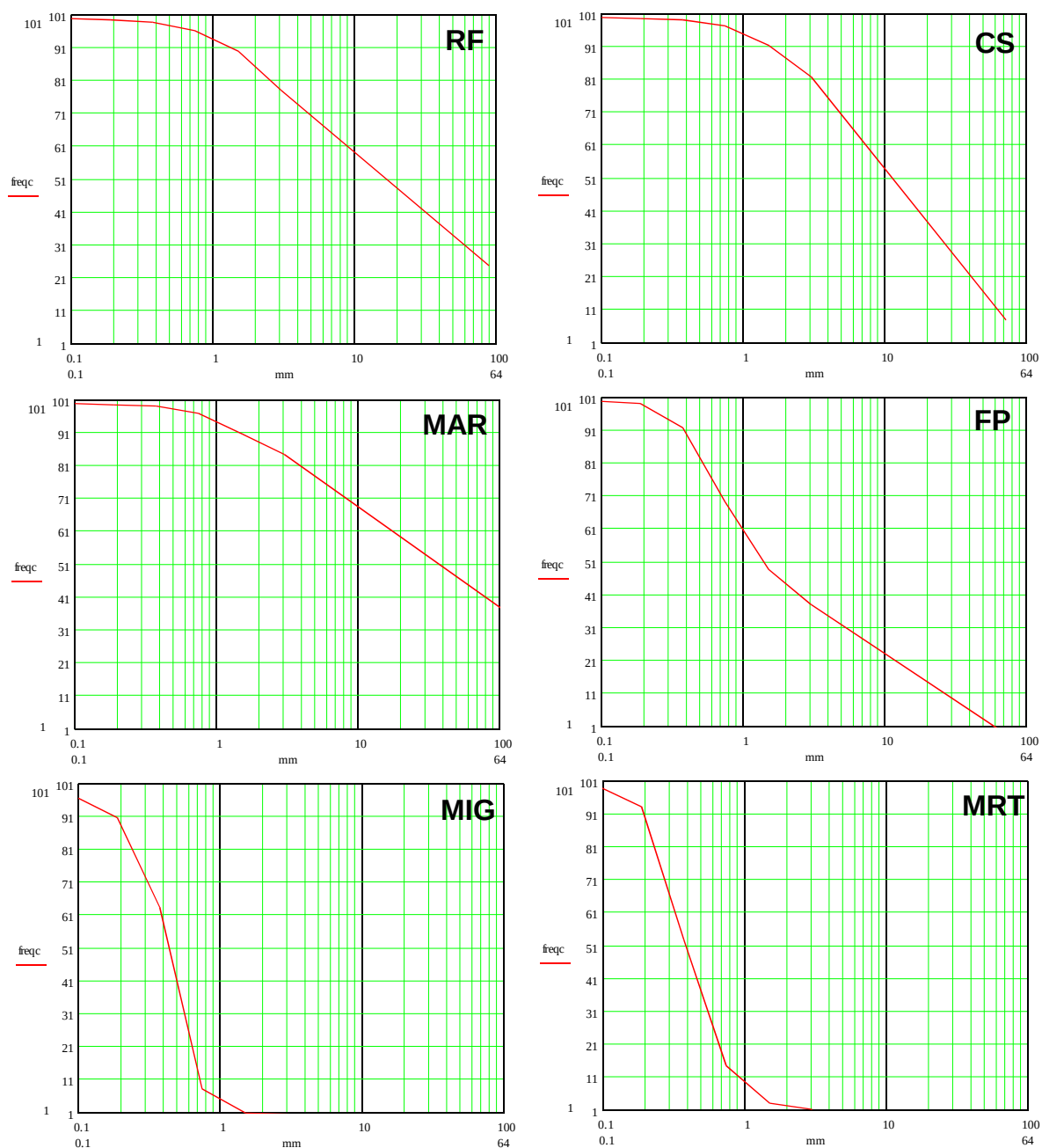


Fig. 6.2: curve granulometriche relative ai campioni di sedimento raccolti in prossimità delle foci fluviali.

I risultati dell'analisi mineralogica, attraverso osservazione di sezione sottile, hanno permesso di effettuare la caratterizzazione qualitativa dei sedimenti presenti nelle aree antistanti le foci dei fiumi e torrenti caratteristici dell'area di studio. Nel dettaglio:

- ✎ Fiume Marta: campione a granulometria medio-fine con granuli arrotondati e fratturati. Fra i clasti presenti si distinguono in funzione della presenza percentuale calcite, quarzo e pirosseni.

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

1.5.6.1.3. Regime pluviometrico

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

Le stazioni idrologiche analizzate sono riportate in tabella 6.2.

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

Tab. 6.2 : stazioni idrologiche prese in considerazione nello studio

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

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

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

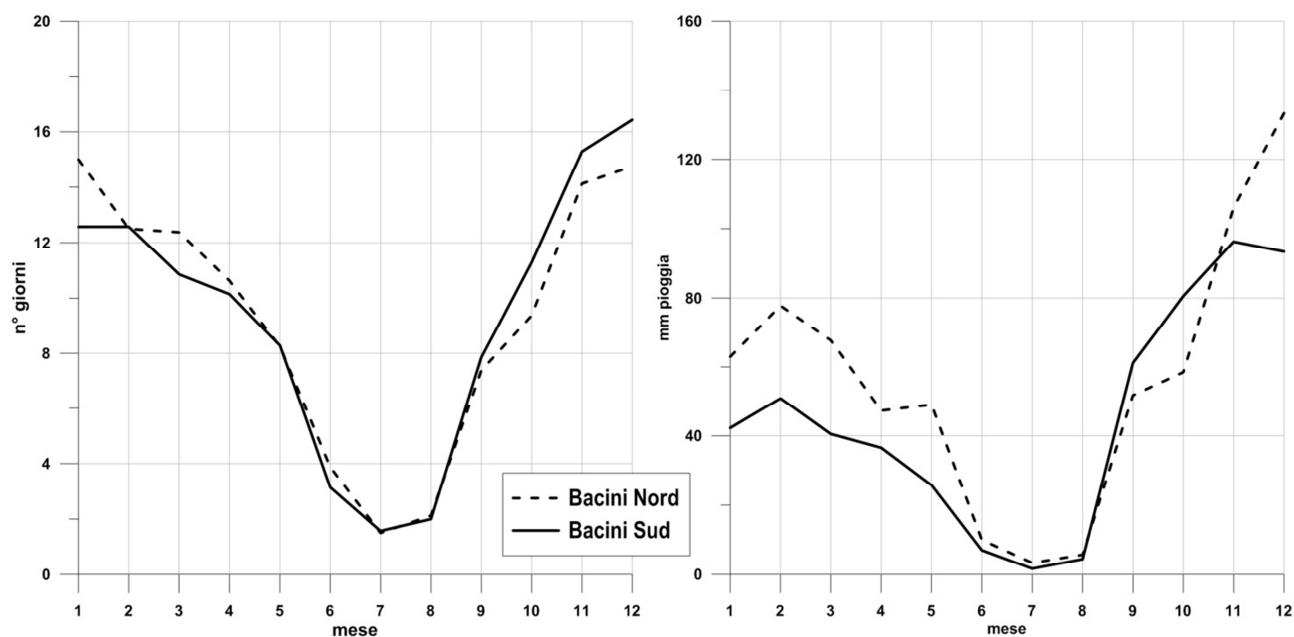


Fig. 6.3 : andamenti mensili del regime pluviometrico degli ultimi 10 anni

1.5.6.1.4. Trasporto liquido e solido

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

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

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

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

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

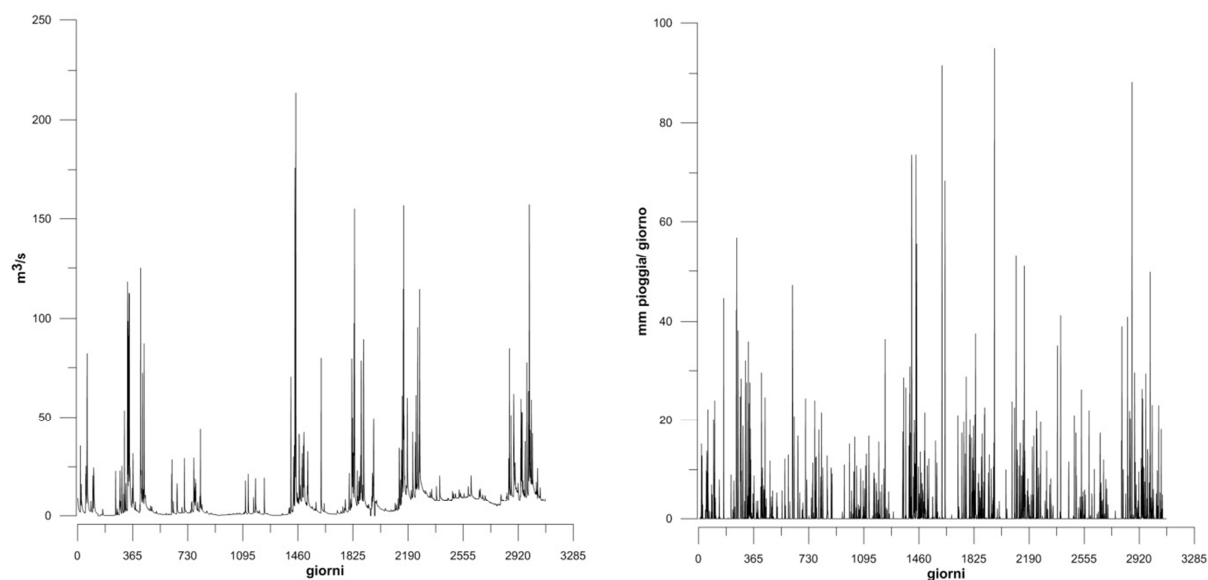


Fig. 6.4 : Portata liquida media giornaliera (sinistra) e mm pioggia/giorno (destra) della stazione S.S. Aurelia sul Fiume Mignone

La portata liquida giornaliera media del fiume Mignone è di 7.2 m³/s e può raggiungere valori di oltre 150 m³/s durante gli eventi estremi. Per quanto riguarda il Fiume Marta il valore medio di portata liquida giornaliera ammonta a 5.35 m³/s con valori massimi di oltre 100 m³/s durante gli eventi estremi di piena.

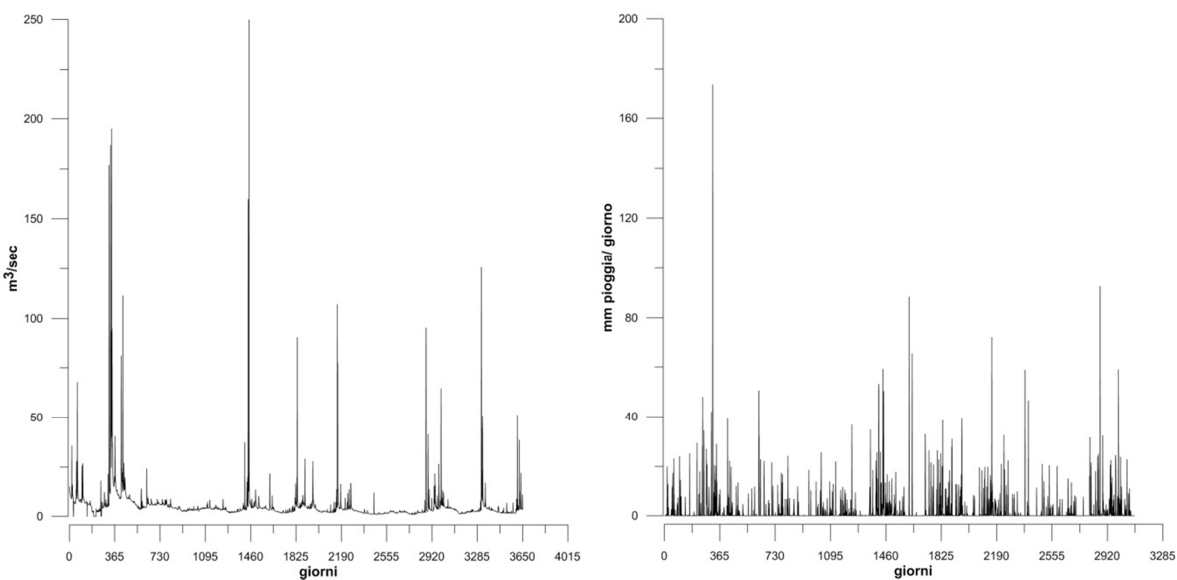


Fig.6.5 : Portata liquida media giornaliera (sinistra) e mm di pioggia/giorno (destra) della stazione Tarquinia sul Fiume Marta

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

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

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

Dalle misure di torbidità è emerso che il Fosso del Prete presenta valori di torbidità molto elevati se messi in rapporto all'estensione del bacino idrografico. Tale situazione è probabilmente determinata dall'elevato grado di antropizzazione presente lungo il bacino idrografico. Infatti tale fosso dall'estensione molto modesta attraversa l'area industriale di Civitavecchia con un canale

molto poco ramificato ed un bacino intensamente antropizzato con una sezione regolare che favorisce il deflusso liquido a scapito dell'infiltrazione.

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

1.5.6.2. Analisi dei dati correntometrici

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

Campagna SUD_1

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

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

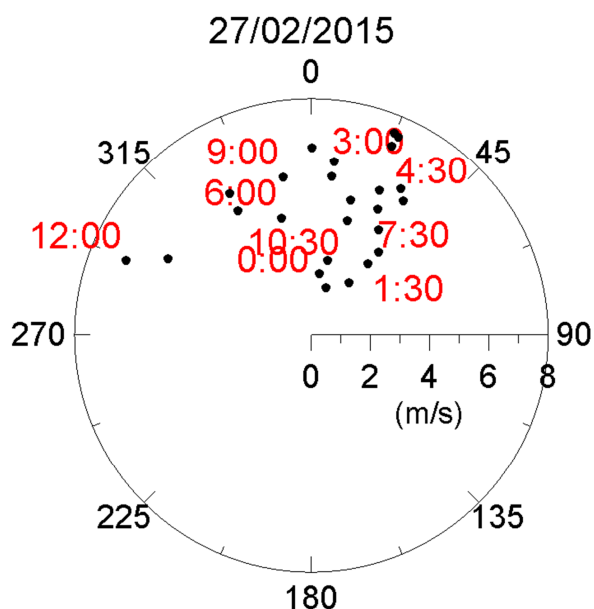


Fig. 6.6 : Odografo del giorno 27.02.2015:

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

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

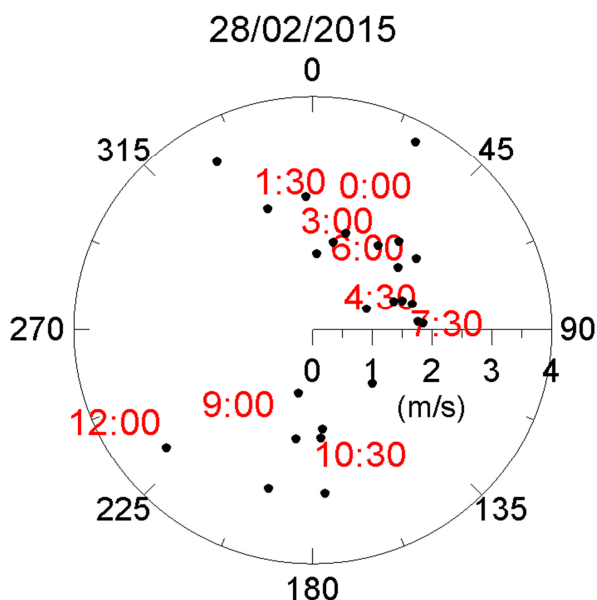


Fig. 6.7 Odografo del giorno 28.02.2015:

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

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

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

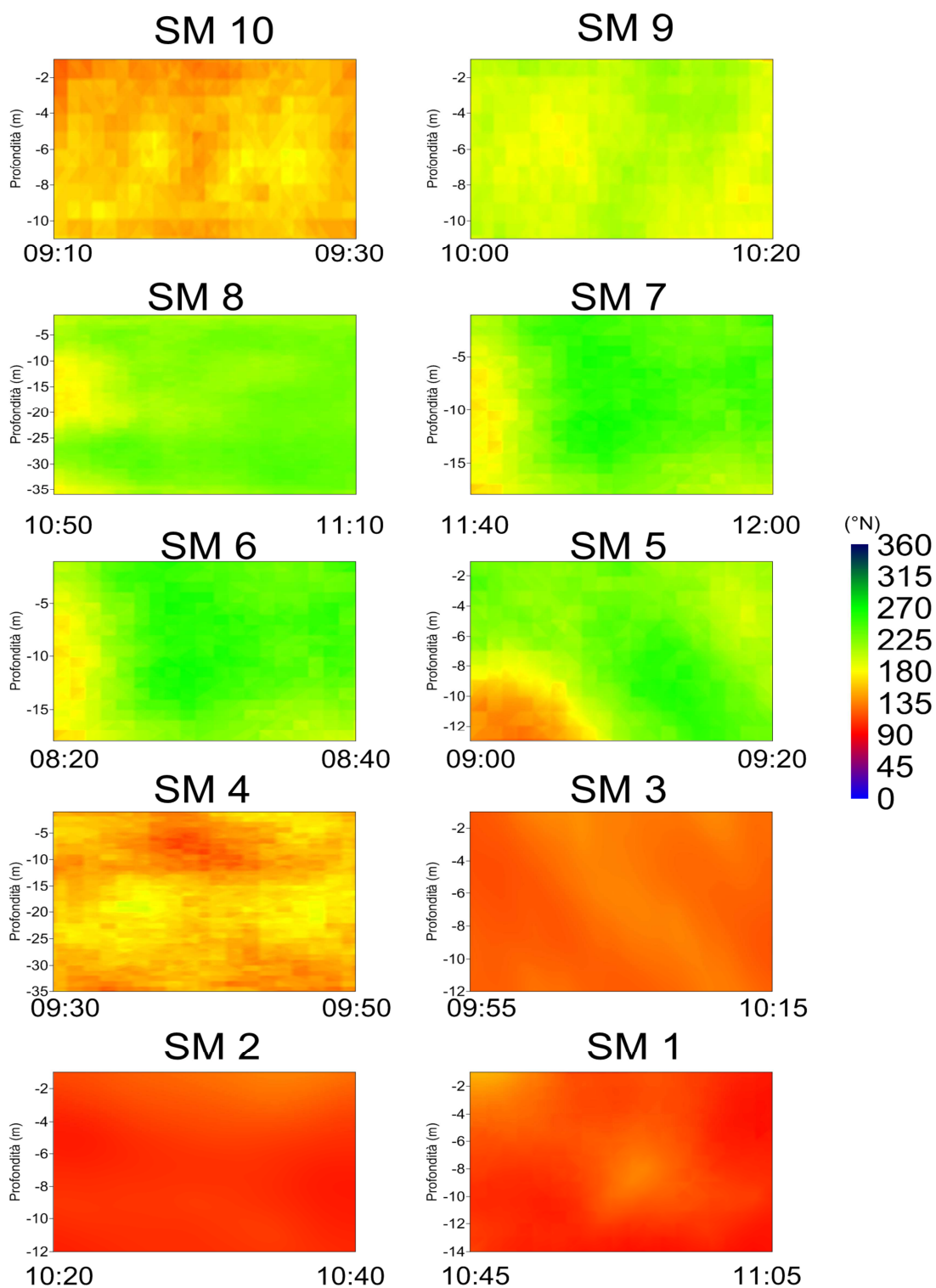


Fig. 6.8 : Rappresentazione della direzione della corrente, misurata in ciascuna stazione, in funzione di profondità e tempo

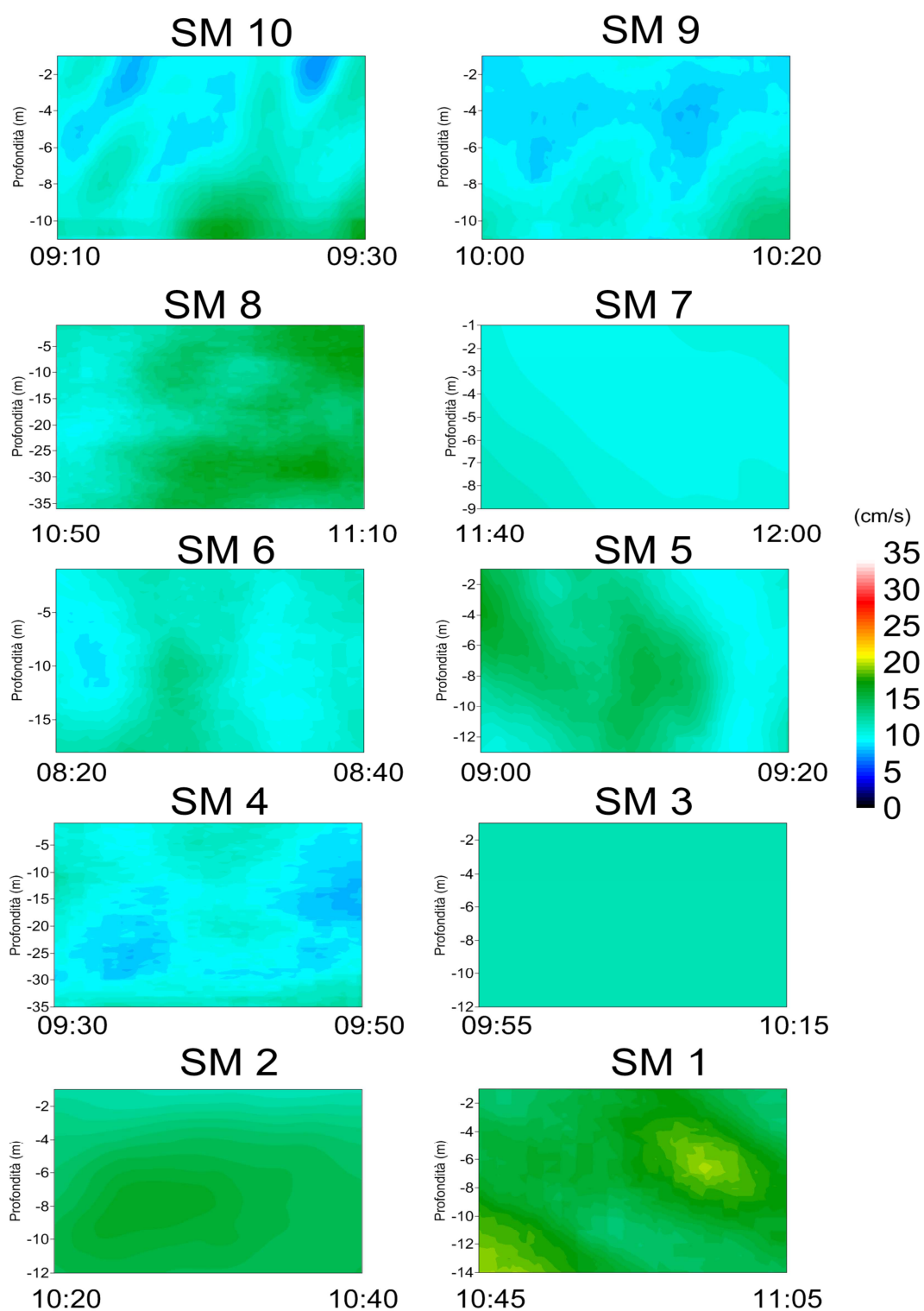


Fig. 6.9 : Rappresentazione della velocità della corrente, misurata in ciascuna stazione, in funzione di profondità e tempo

Campagna NORD_1

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

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

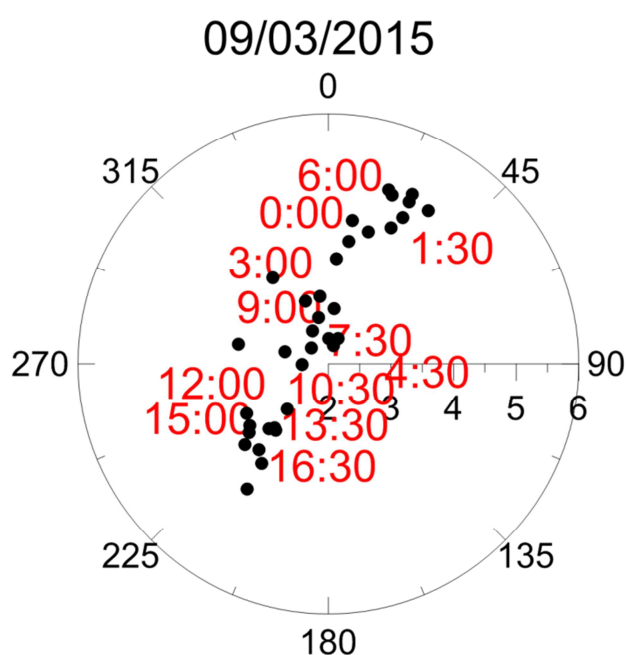


Fig. 6.10 : Odografo del giorno 09.03.2015:

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

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

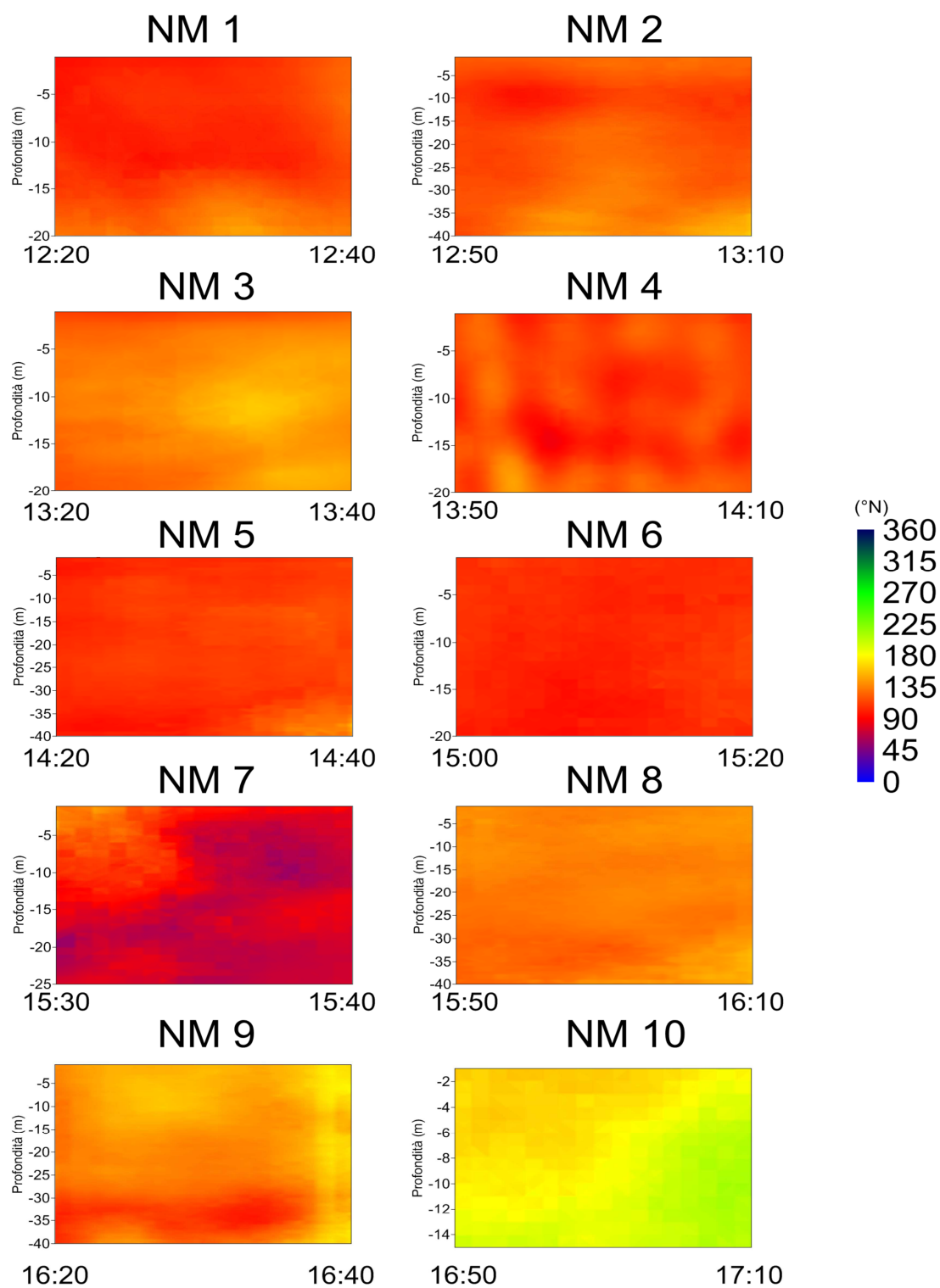


Fig. 6.11 : Rappresentazione della direzione della corrente, misurata in ciascuna stazione, in funzione di profondità e tempo

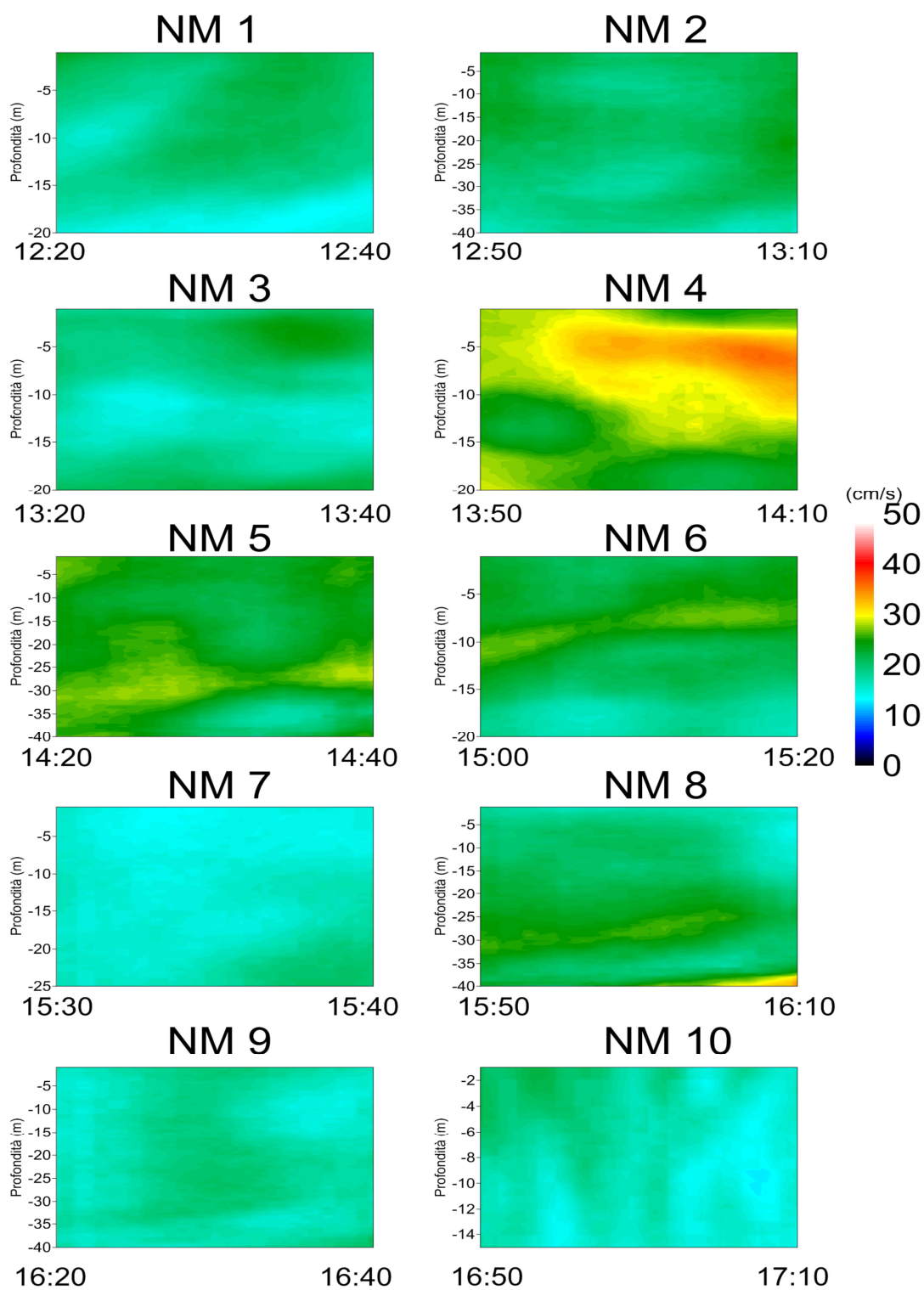


Fig.6.12 : Rappresentazione della velocità della corrente, misurata in ciascuna stazione, in funzione di profondità e tempo

Campagna SUD_2

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

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

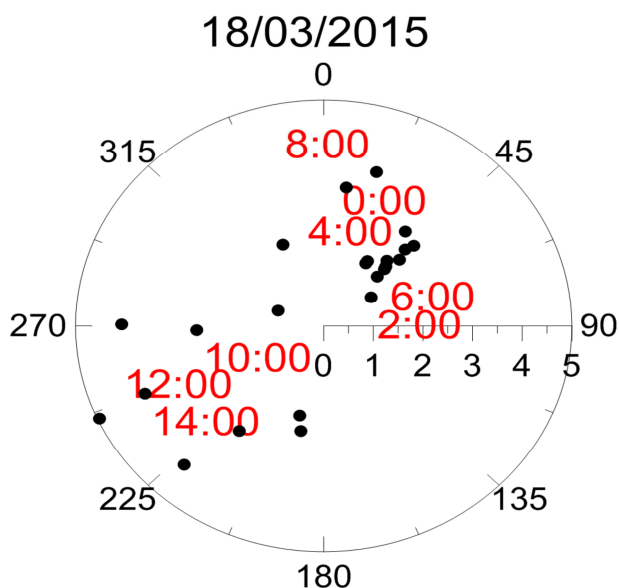


Fig. 6.13 : Odografo del giorno 18.03.2015:

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

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

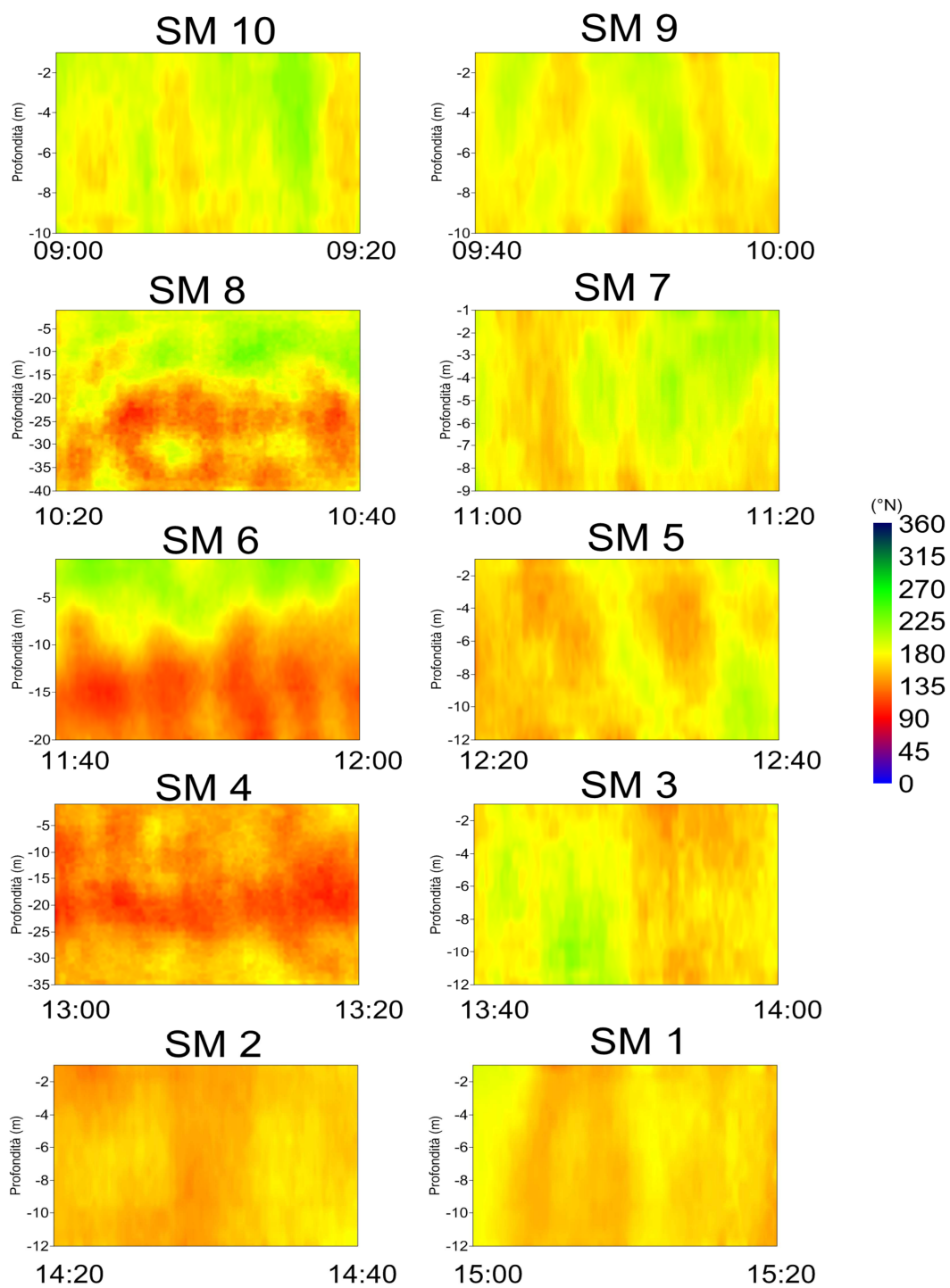


Fig. 6.14 : Rappresentazione della direzione della corrente, misurata in ciascuna stazione, in funzione di profondità e tempo

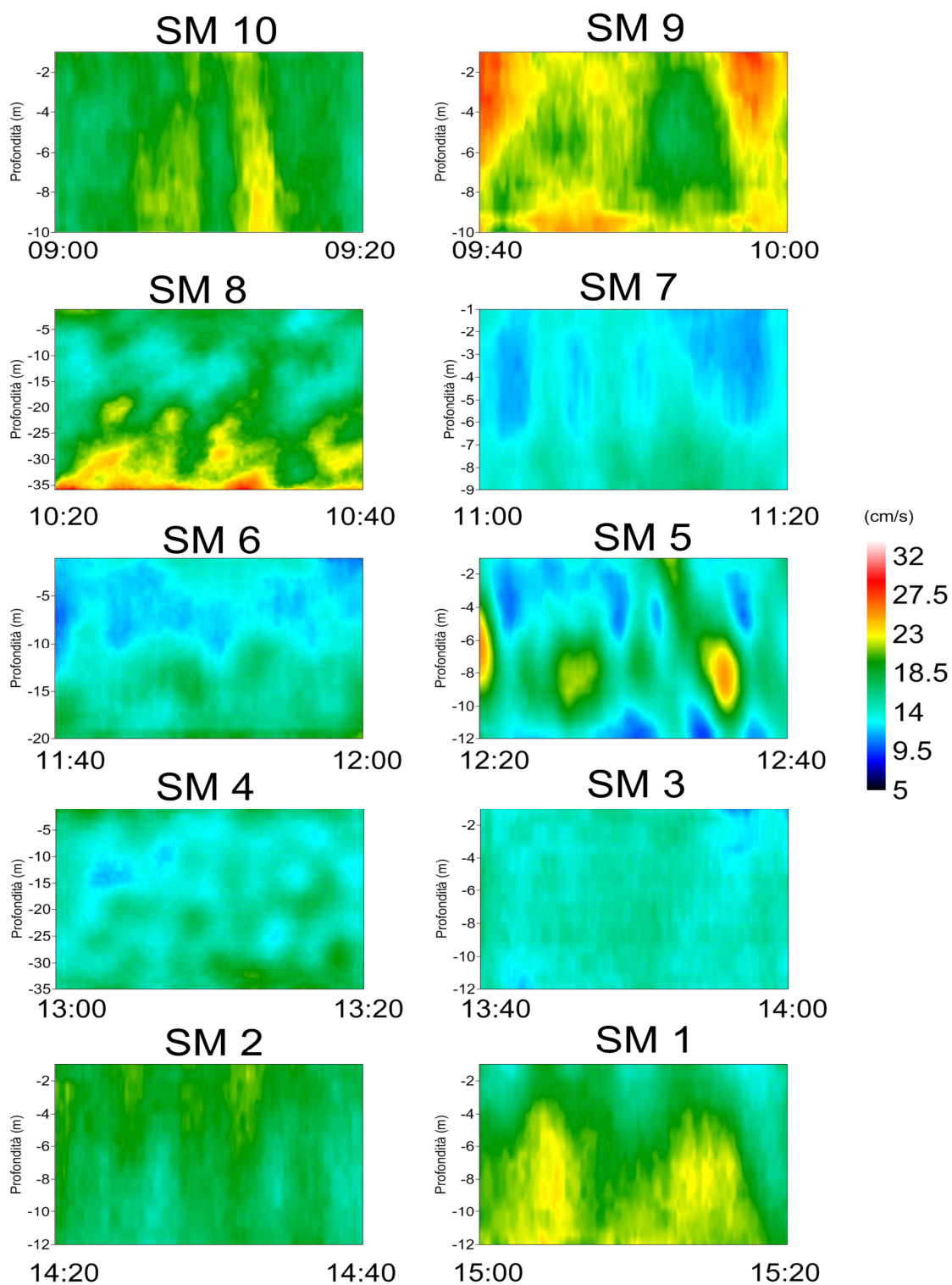


Fig. 6.15 : Rappresentazione della velocità della corrente, misurata in ciascuna stazione, in funzione di profondità e tempo

Campagna NORD_2

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

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

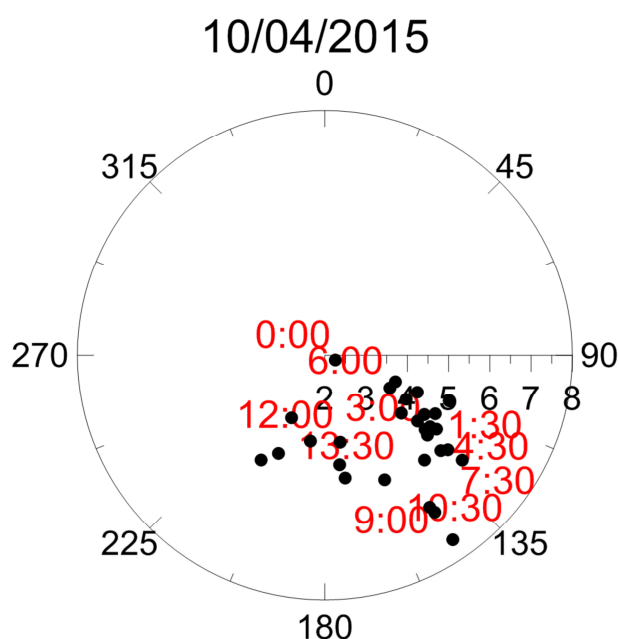


Fig. 6.16 : Odografo del giorno 10.04.2015:

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

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

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

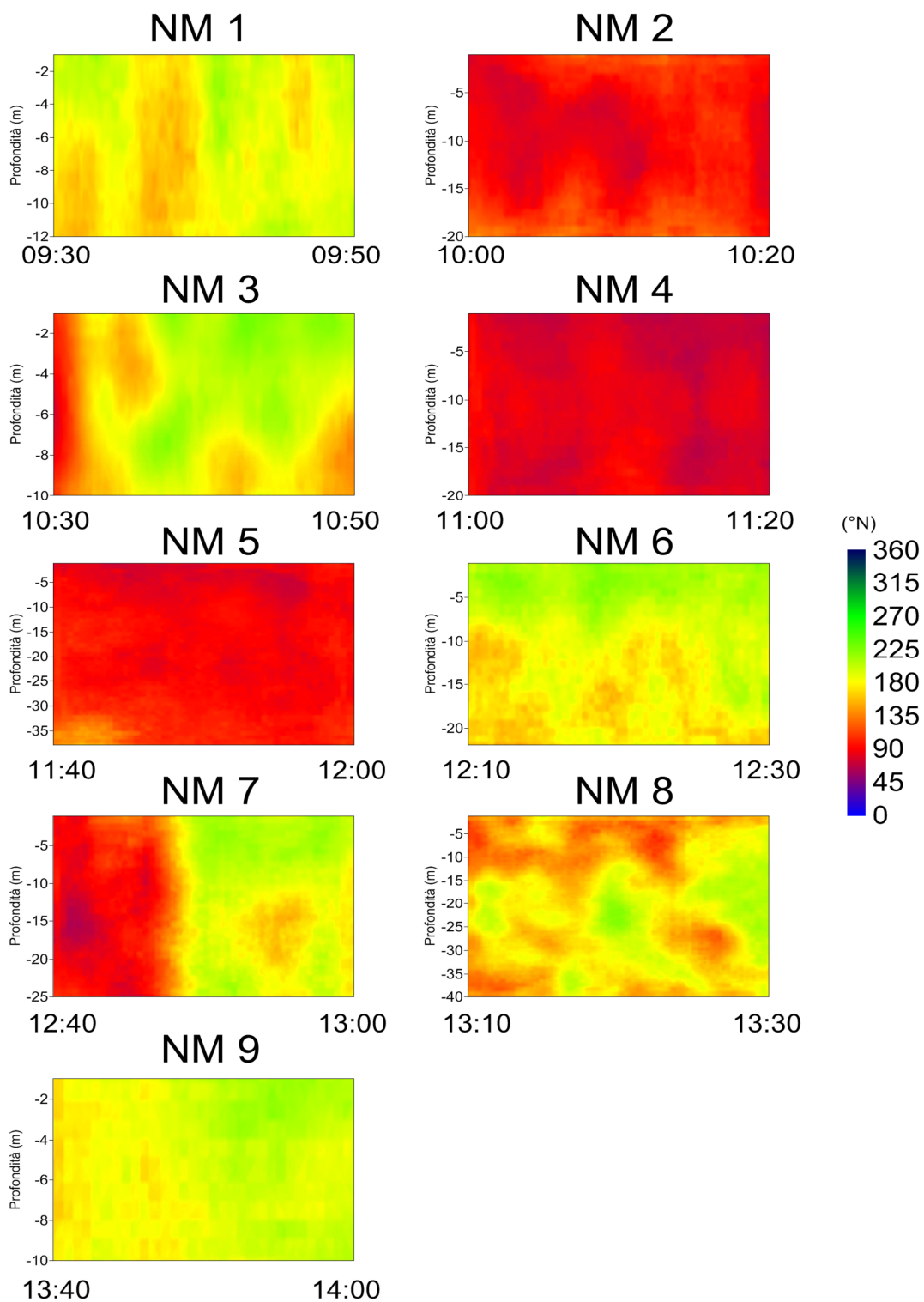


Fig. 6.17 : Rappresentazione della direzione della corrente, misurata in ciascuna stazione, in funzione di profondità e tempo

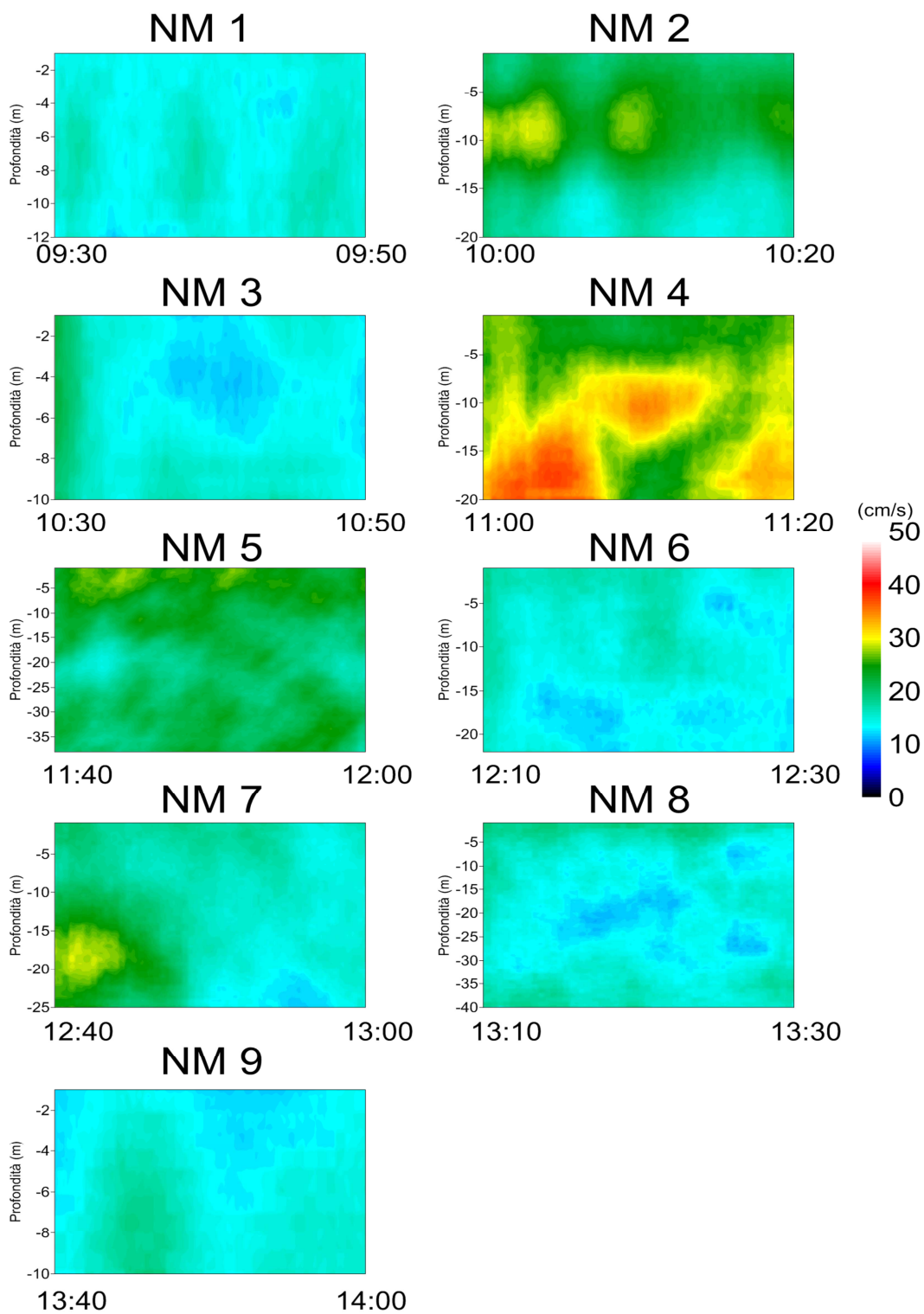


Fig. 6.18 : Rappresentazione della velocità della corrente, misurata in ciascuna stazione, in funzione di profondità e tempo

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

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

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

Campagna SUD_1

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

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

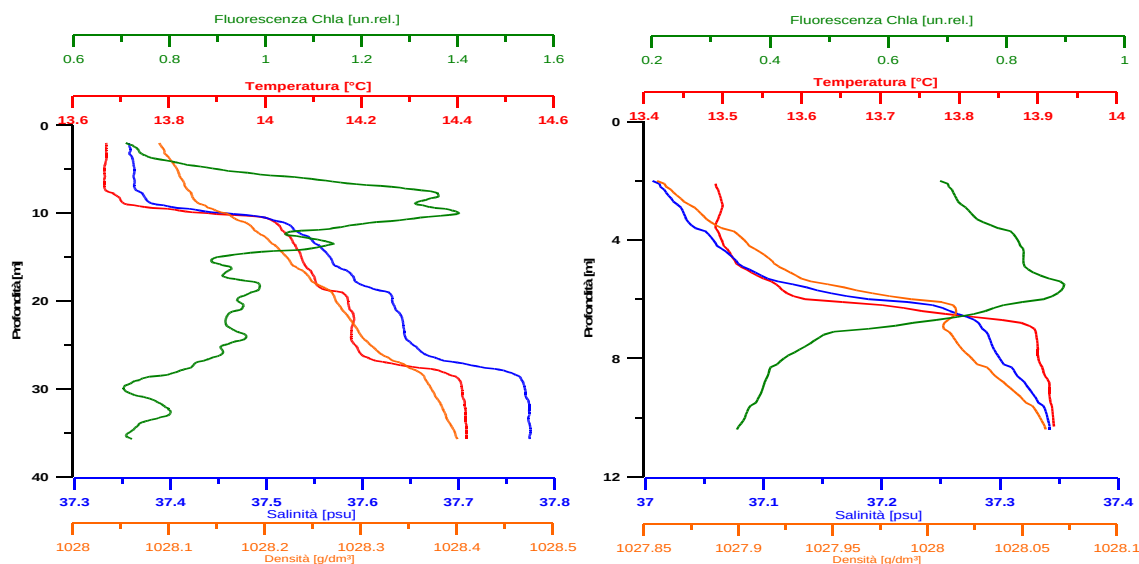


Fig. 6.19 : Rappresentazione dell'andamento di temperatura, salinità, densità e fluorescenza della clorofilla *a* in funzione della profondità nelle stazioni SM04, a sinistra, e SM10, a destra

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

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

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

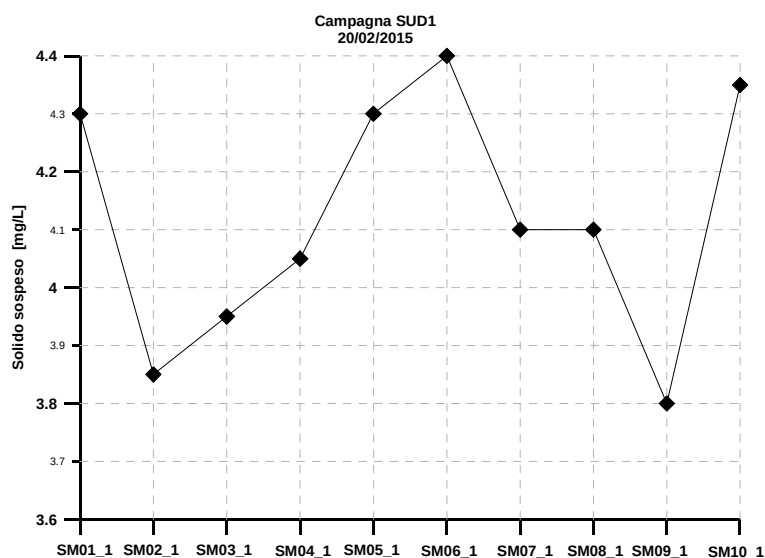


Fig. 6.20 : Valori delle concentrazioni di solido sospeso per ciascuna stazione

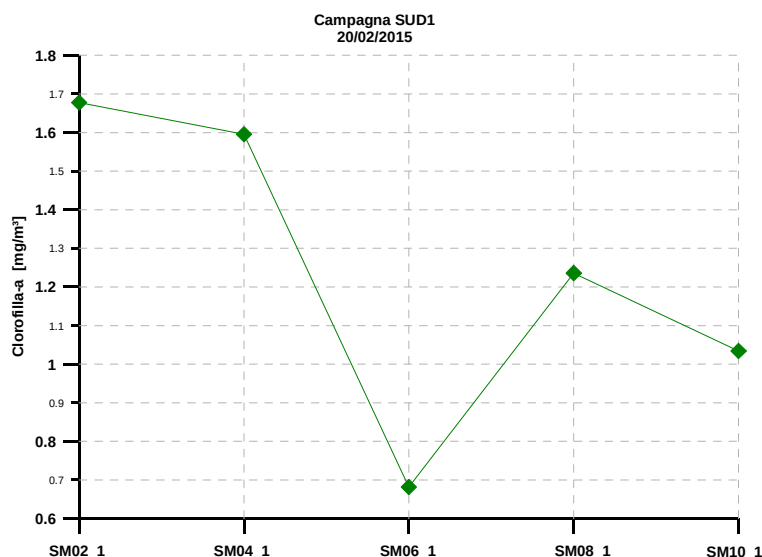


Fig. 6.21 : Valori delle concentrazioni di clorofilla *a* per ciascuna stazione

Campagna NORD_1

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

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

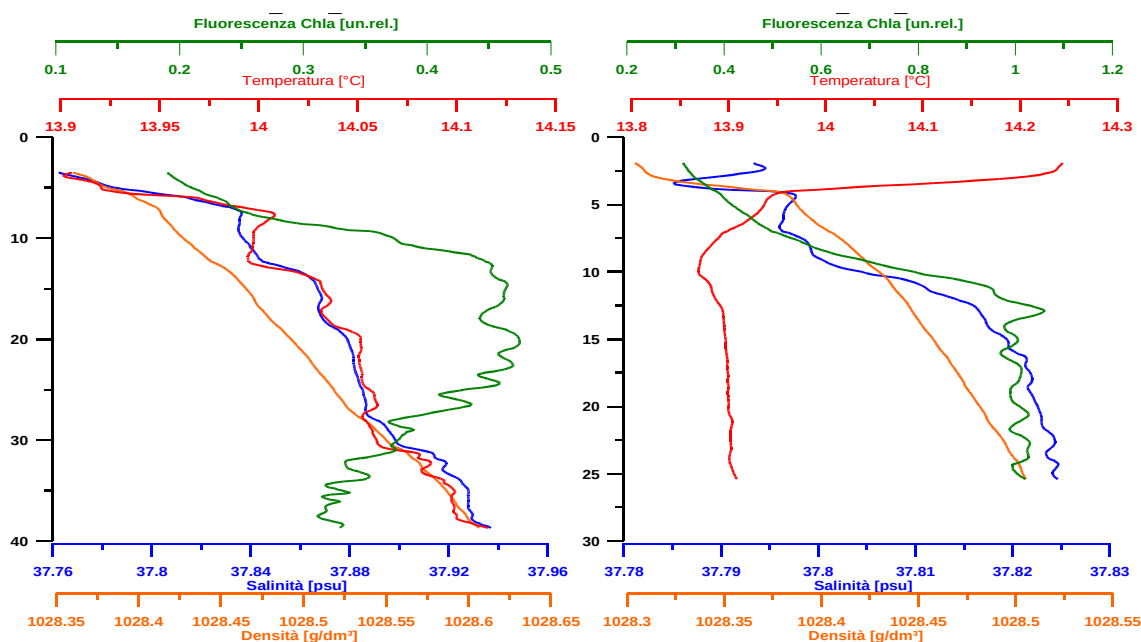


Fig. 6.22 : Rappresentazione dell'andamento di temperatura, salinità, densità e fluorescenza della clorofilla *a* in funzione della profondità nelle stazioni NM02, a sinistra, e NM08, a destra

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

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

Di seguito vengono riportate le concentrazioni di solido sospeso e clorofilla *a* ottenute dall'analisi dei campioni di acqua superficiali. Nella campagna NORD_1 le concentrazioni di solido sospeso variano tra 3.65 mg/l e 4.56 mg/l, mentre per quanto attiene le concentrazioni di clorofilla *a*, i valori sono compresi tra 0.47 µg/l e 0.71 µg/l, come osservabile rispettivamente nelle figure 6.23 e 6.24.

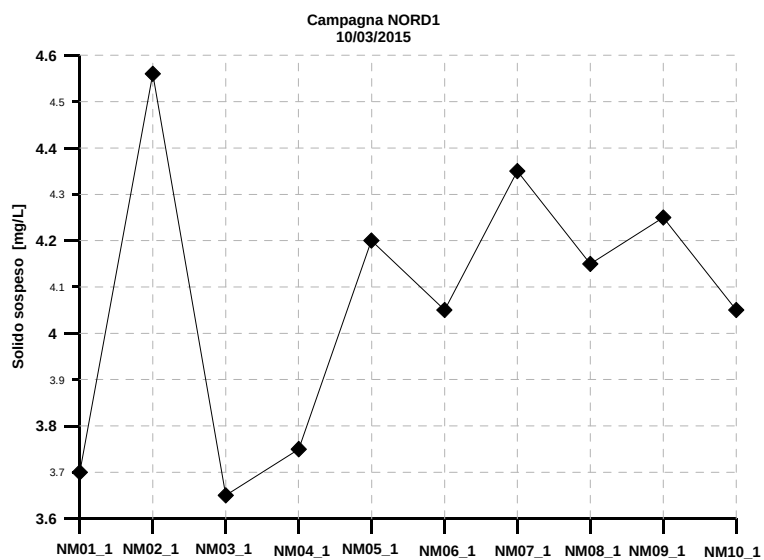


Fig. 6.23 : Valori delle concentrazioni di solido sospeso per ciascuna stazione

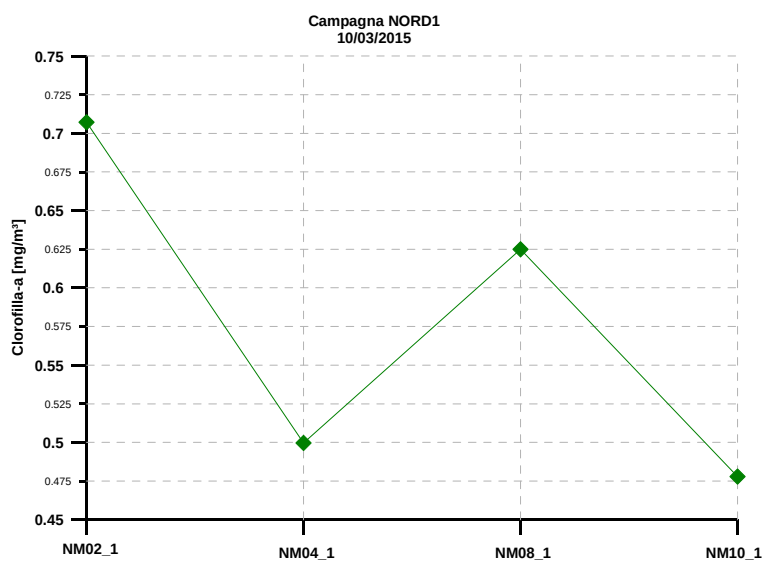


Fig. 6.24 : Valori delle concentrazioni di clorofilla *a* per ciascuna stazione

Campagna SUD_2

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

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

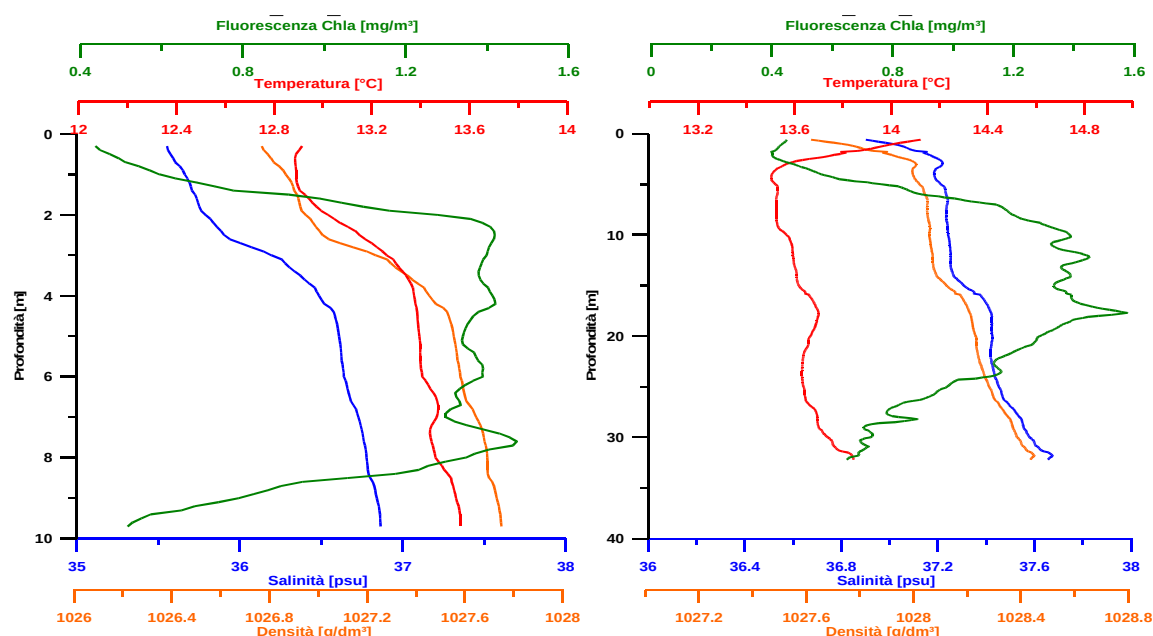


Fig. 6.25 : Rappresentazione dell'andamento di temperatura, salinità, densità e fluorescenza della clorofilla *a* in funzione della profondità nelle stazioni SM10, a sinistra, e SM04, a destra

Dall'analisi della distribuzione della temperatura è possibile osservare che l'andamento lungo la colonna d'acqua varia con il passare del tempo: la prima stazione, SM10, effettuata alle 8:26 presenta un profilo verticale con valori minimi in superficie di 12.9°C, e massimi sul fondo di 13.6°C. A partire dalla stazione SM06 il profilo di temperatura si inverte per effetto del riscaldamento superficiale; mentre la parte più profonda mantiene una temperatura costante, di circa 13.6°C, la parte superficiale, raggiunge i 14.5°C nella stazione SM01.

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

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

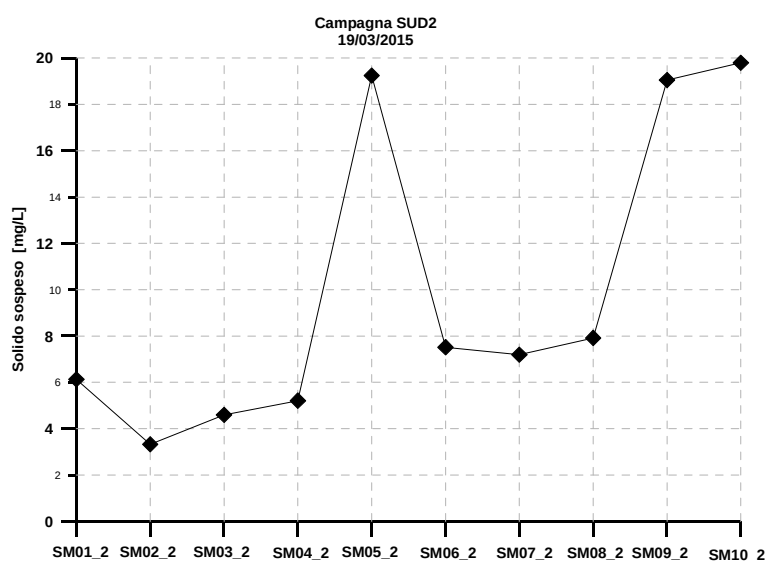


Fig. 6.26 : Valori delle concentrazioni di solido sospeso per ciascuna stazione

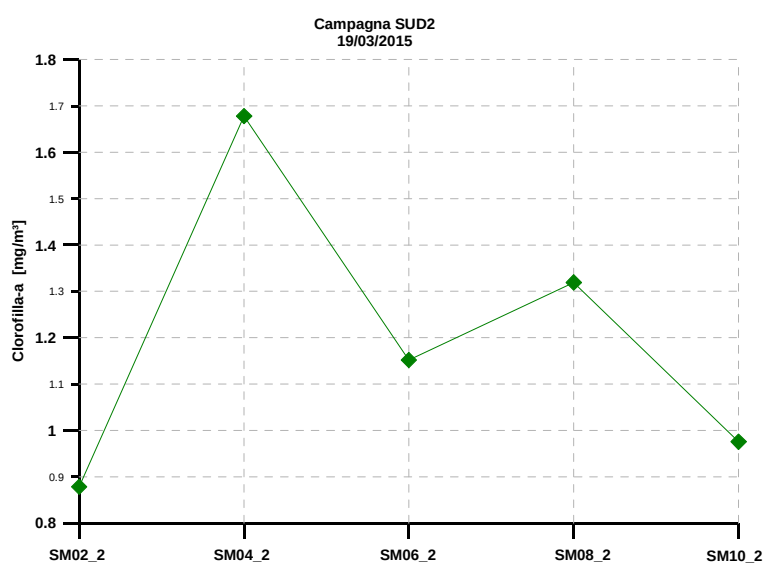


Fig. 6.27 : Valori delle concentrazioni di clorofilla *a* per ciascuna stazione

Campagna NORD_2

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

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

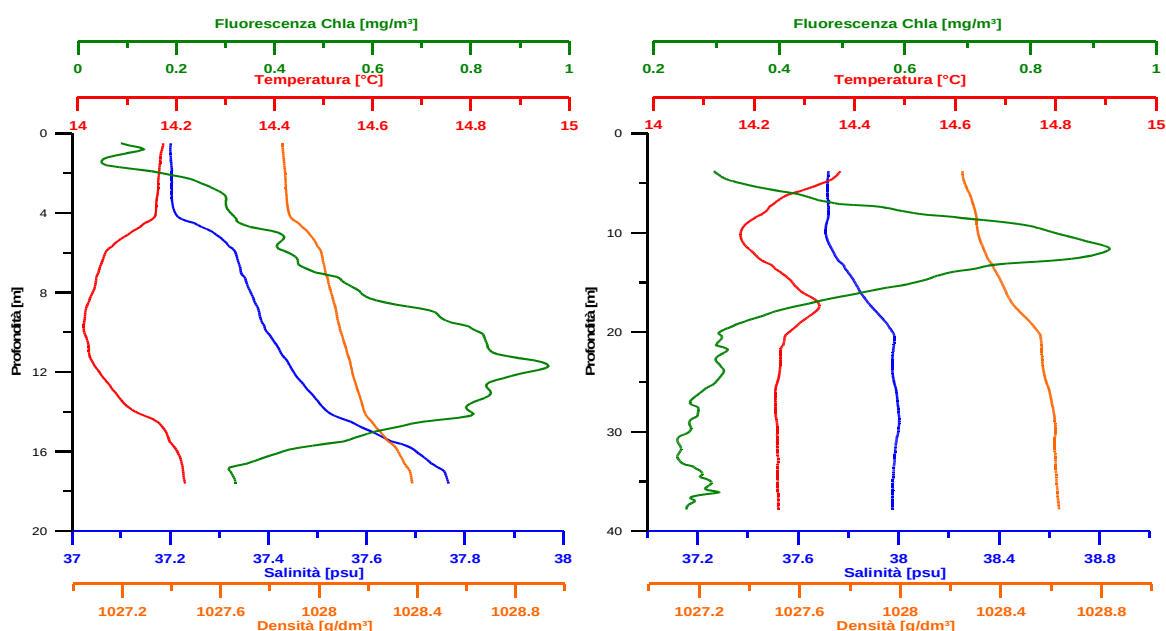


Fig. 6.28 : Rappresentazione dell'andamento di temperatura, salinità, densità e fluorescenza della clorofilla *a* in funzione della profondità nelle stazioni NM02, a sinistra, e NM08, a destra

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

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

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

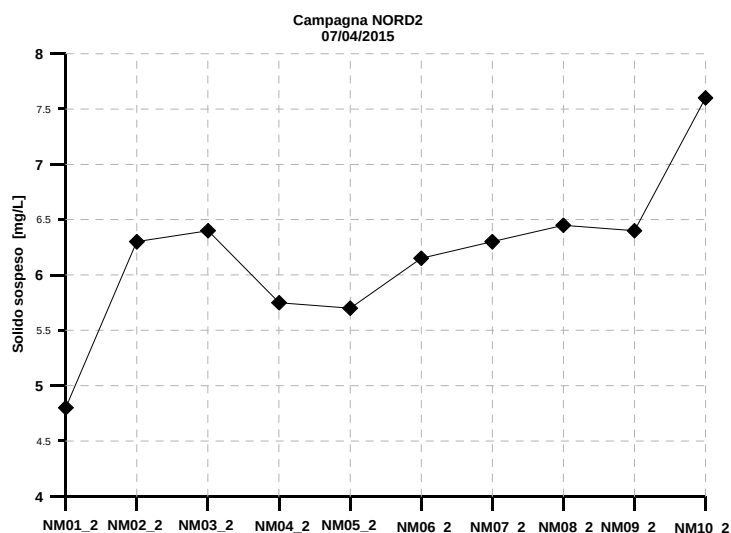


Fig. 6.29 : Valori delle concentrazioni di solido sospeso per ciascuna stazione

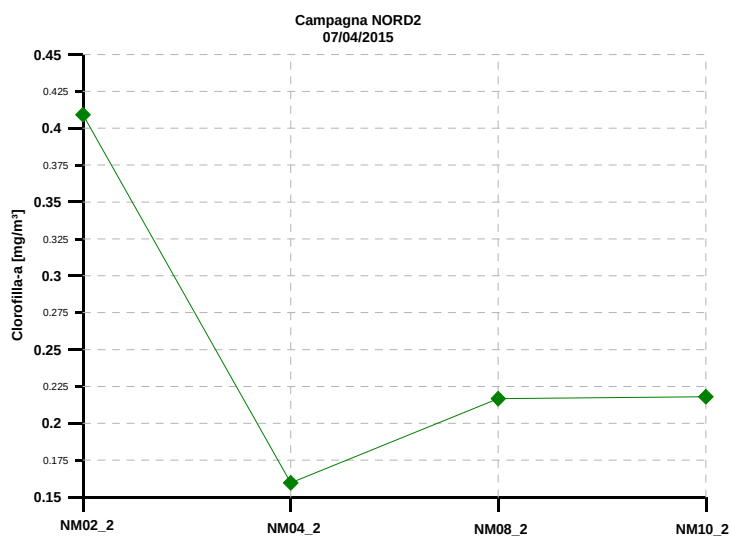


Fig. 6.30 : Valori delle concentrazioni di clorofilla *a* per ciascuna stazione

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

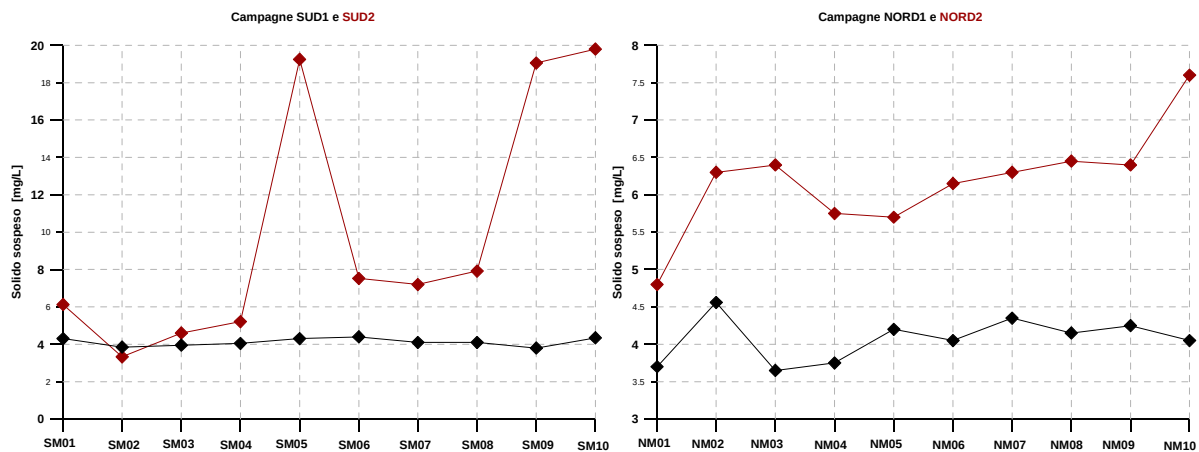


Fig. 6.31 : Valori delle concentrazioni di solido sospeso per ciascuna stazione

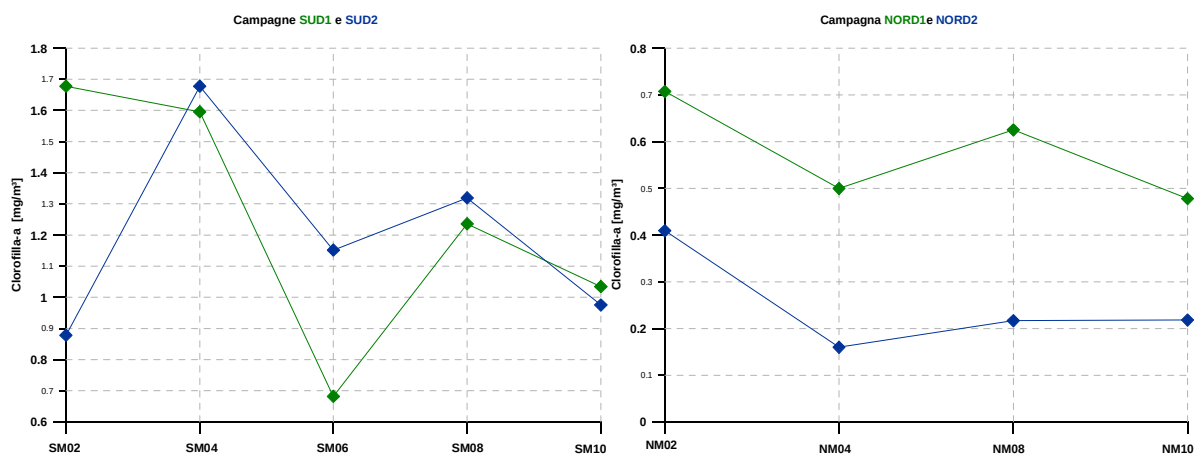


Fig. 6.32 : Valori delle concentrazioni di clorofilla *a* per ciascuna stazione

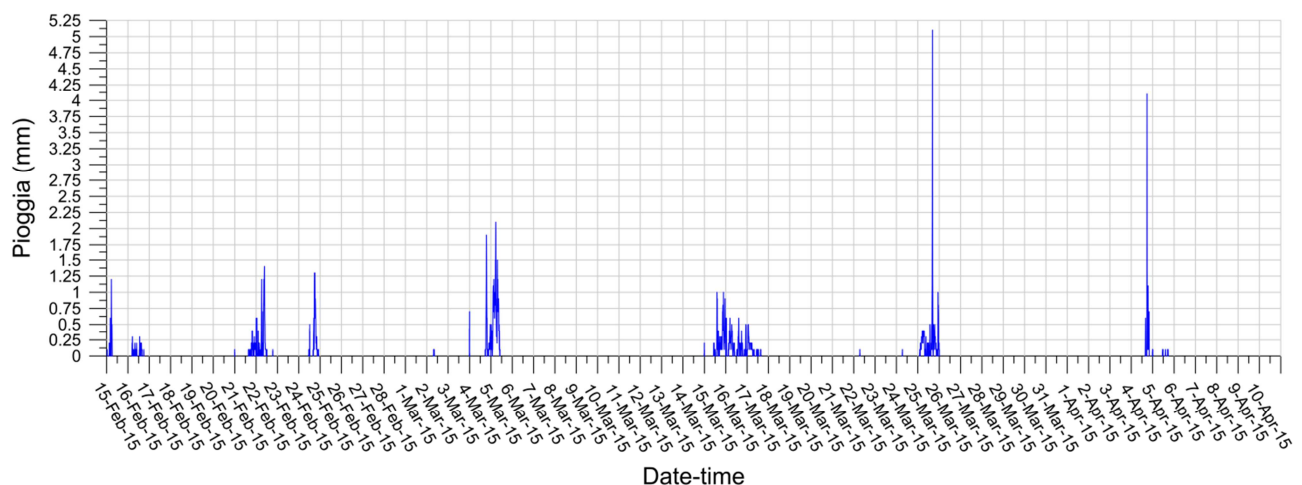


Fig. 6.33 : Andamento dei dati pluviometrici acquisiti dalla stazione meteorologica dell'Autorità Portuale all'interno del Porto di Civitavecchia

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

Indice TRIX

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

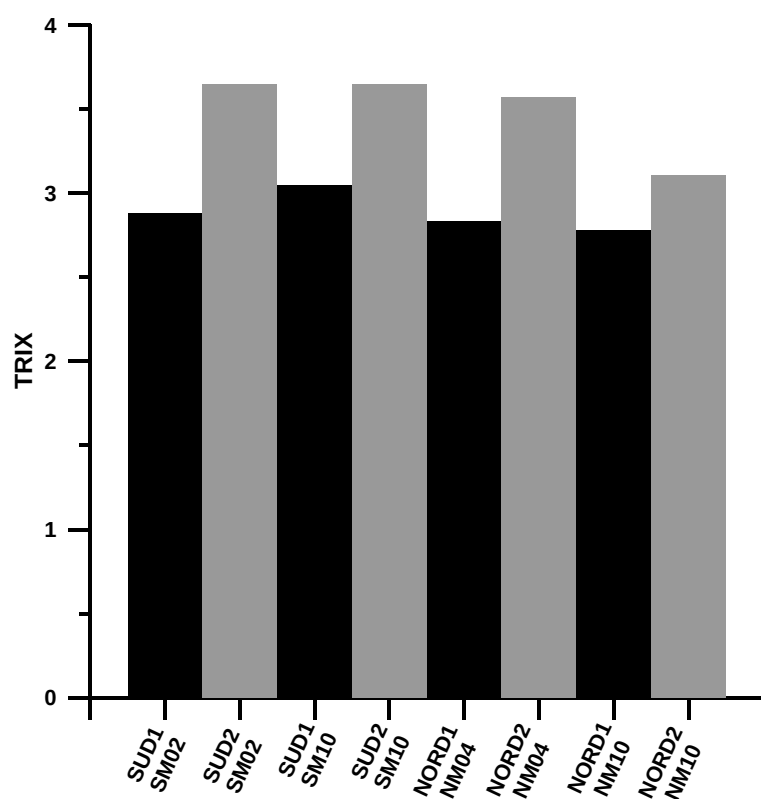


Fig. 6.34 : Valori ottenuti dal calcolo dell'indice TRIX

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

Osservazioni satellitari

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

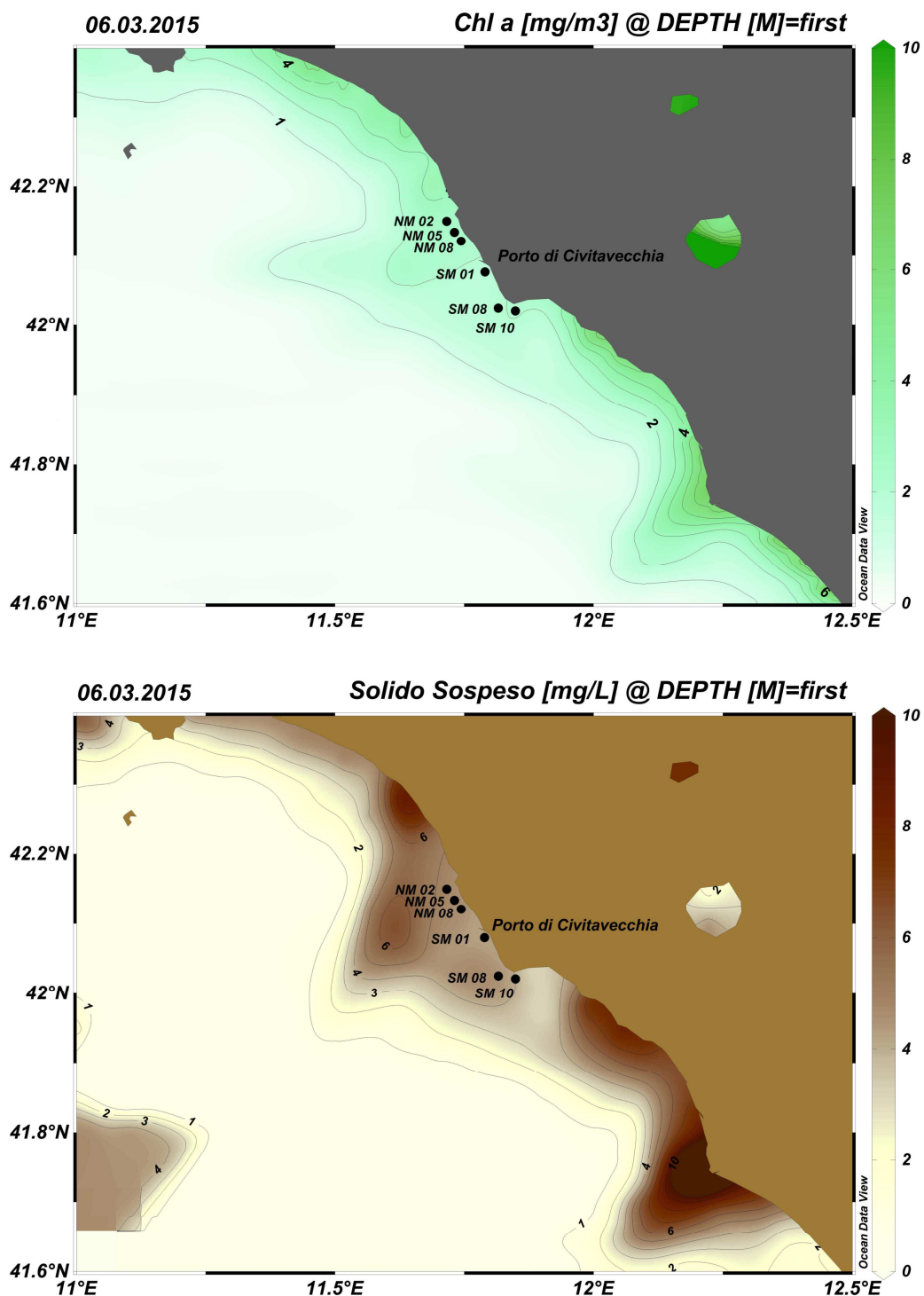


Fig. 6.35 : Distribuzione di chl e solido sospeso ottenuto dall'elaborazione di dati satellitari.

Tutte le immagini elaborate sono riportate nell'Allegato B.

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

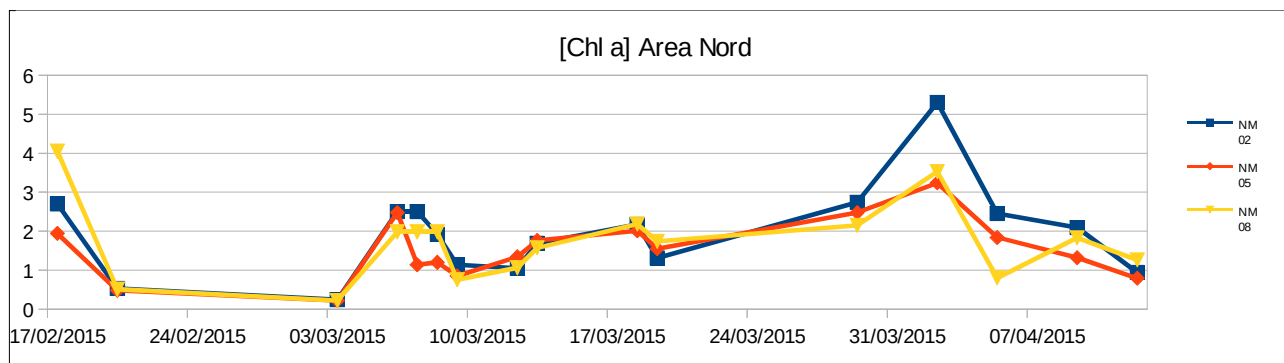


Fig. 6.36 : Concentrazione di clorofilla a ottenuta dai dati satellitari nelle stazioni NM02, NM05 ed NM08 nell'area Nord

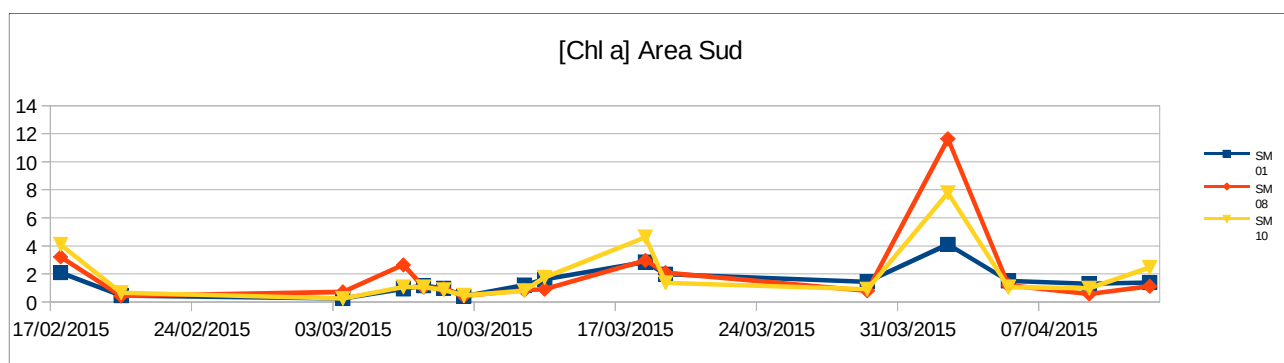


Fig. 6.37 : Concentrazione di clorofilla a ottenuta dai dati satellitari nelle stazioni SM01, SM08 ed SM10 nell'area Sud

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

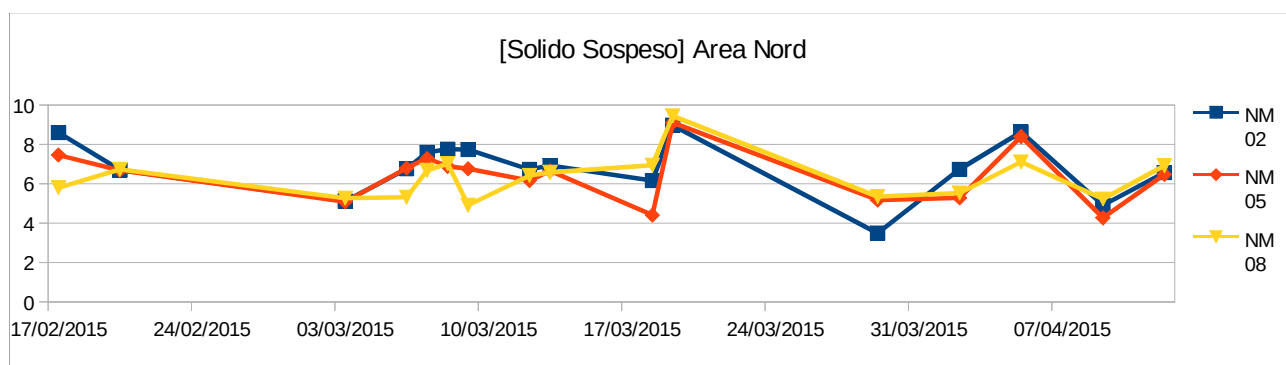


Fig. 6.38 : Concentrazione di solido sospeso ottenuta dai dati satellitari nelle stazioni NM02, NM05 ed NM08 nell'area Nord

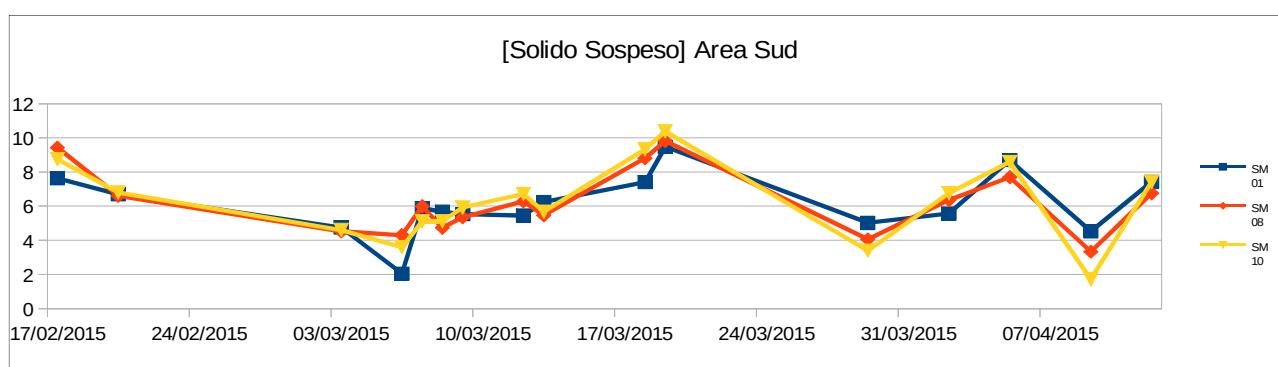


Fig. 6.39 : Concentrazione di solido sospeso ottenuta dai dati satellitari nelle stazioni SM01, SM08 ed SM10 nell'area Sud

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

1.5.6.4. Analisi del rateo di sedimentazione nei SIC

Nelle tabelle 6.5, 6.6 e 6.7 sono riportati rispettivamente i risultati relativi alla caratterizzazione granulometrica del contenuto delle trappole per sedimento installate nel SIC Nord e nel SIC Sud, il valore di rateo deposizionale giornaliero e di rateo deposizionale annuale della frazione pelitica. Dal momento che per ogni stazione sono state considerate tre trappole posizionate ai limiti

interni, esterni e la centro della prateria di P.oceanica, i risultati esprimono medie ricavate in funzione del numero di trappole utilizzabili per il calcolo.

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

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

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

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

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

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

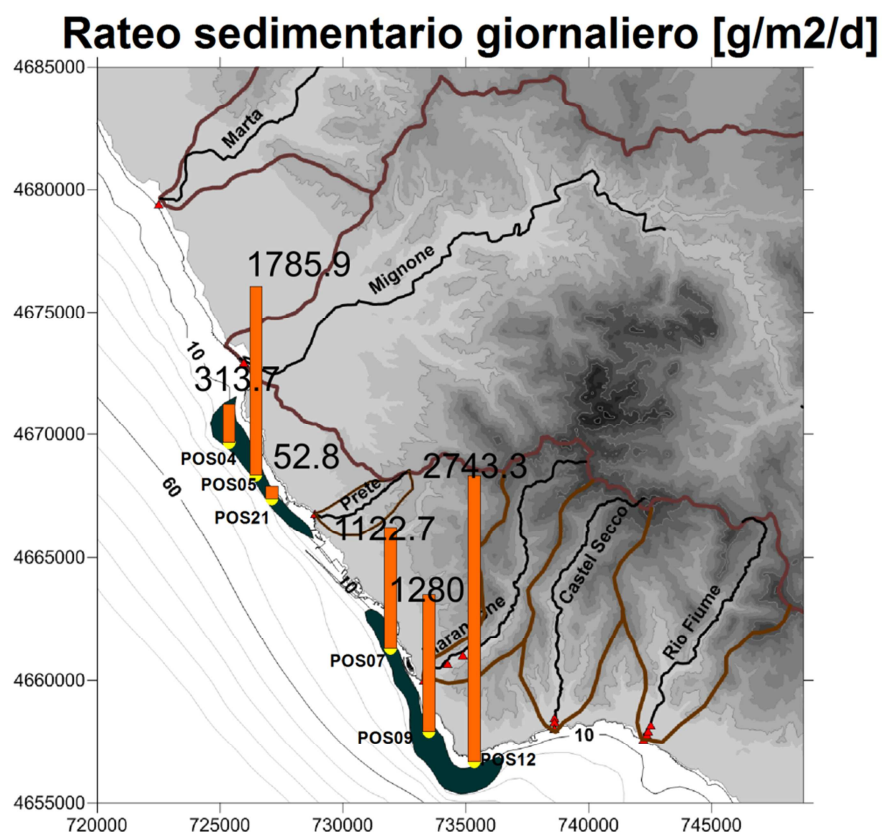


Fig.6.40 :: Rateo sedimentario giornaliero nelle stazioni di campionamento (valore medio)

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

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

I ratei deposizionali della frazione ghiaiosa (Fig. 6.41) mostrano un pattern di distribuzione con massimo coincidente con la stazione POS06 (437 g/m²/d) e minimo coincidente con la stazione POS21 (0.7 g/m²/d). In generale la frazione ghiaiosa mostra un andamento dei valori sovrapponibile ai risultati dei ratei sedimentari totali con l'eccezione del SIC meridionale in cui non si nota alcun gradiente di distribuzione essendo il massimo deposizionale coincidente, per questo settore, con la stazione POS07 (347.6 g/m²/d).

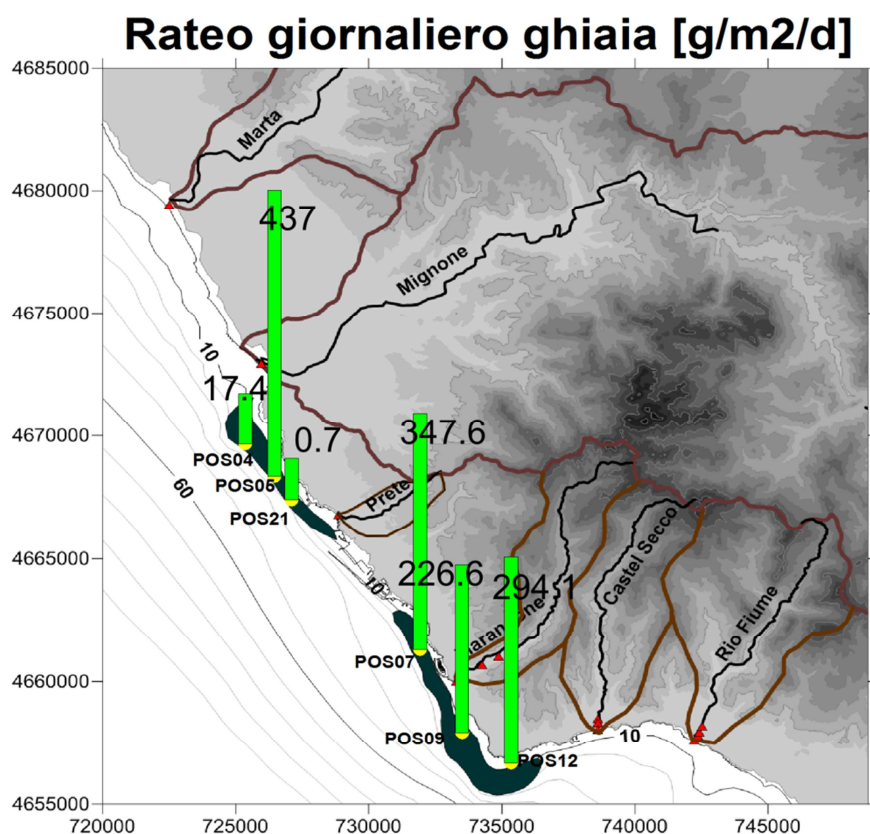


Fig.6.41 : Rateo sedimentario giornaliero della frazione ghiaiosa nelle stazioni di campionamento (valore medio)

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

I ratei giornalieri della frazione pelitica (< 63 µm) mostrano un massimo deposizionale alla stazione POS12 (37.3 g/m²/d) e un minimo alla stazione POS06 (1.4 g/m²/d) (Fig.6.43). Non si evincono gradienti nella distribuzione spaziale rispetto alle praterie considerate e in generale i valori mostrano un rateo deposizionale sensibilmente più elevato nella prateria meridionale rispetto a quella settentrionale. I valori riscontrati in POS07 (12.5 g/m²/d) e in POS04 (6.1 g/m²/d) sembrerebbero comunque indicare una certa influenza degli apporti relativi, rispettivamente, al torrente Marangone e al fiume Mignone.

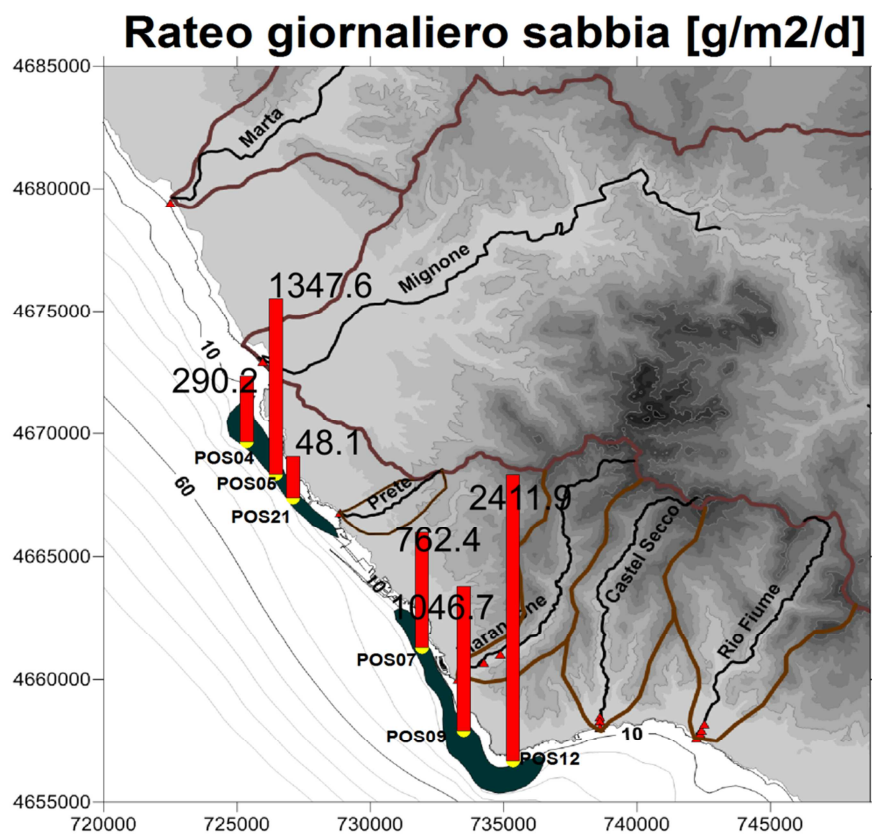


Fig.6.42 : Rateo sedimentario giornaliero della frazione sabbiosa nelle stazioni di campionamento (valore medio)

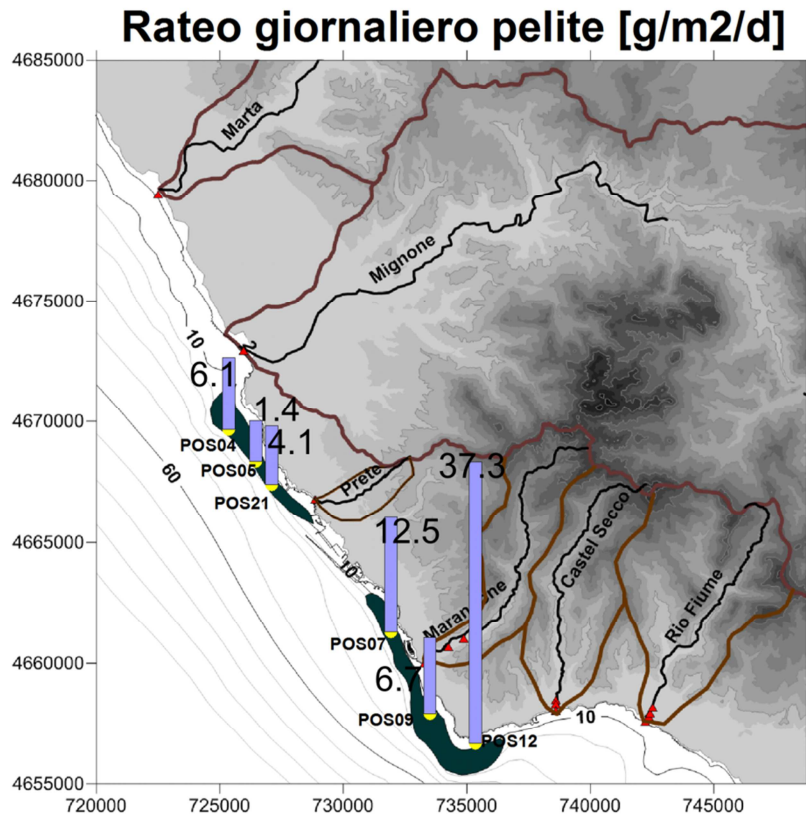


Fig. 6.43 : Rateo sedimentario giornaliero della frazione pelitica nelle stazioni di campionamento (valore medio)

Attraverso la misura dei ratei pelitici giornalieri è stata ricavata una stima dei ratei pelitici annuale (Fig. 6.44). Il pattern di distribuzione dei valori, pur considerando che la proiezione è basata su misure effettuate durante una sola stagione, conferma un tasso deposizionale maggiore per il SIC a sud del Porto di Civitavecchia rispetto al settore settentrionale. Il massimo deposizionale è nella stazione POS12 ($13614 \text{ g/m}^2/\text{yr}$) e il minimo è alla stazione POS05 ($519 \text{ g/m}^2/\text{yr}$).

In generale, a parte il valore di picco alla stazione POS12, si evidenzia una probabile influenza del torrente Marangone a sud (stazione POS07, $4555.8 \text{ g/m}^2/\text{yr}$) e in misura minore dell'area del delta del Mignone (stazione POS04, $2237.2 \text{ g/m}^2/\text{yr}$).

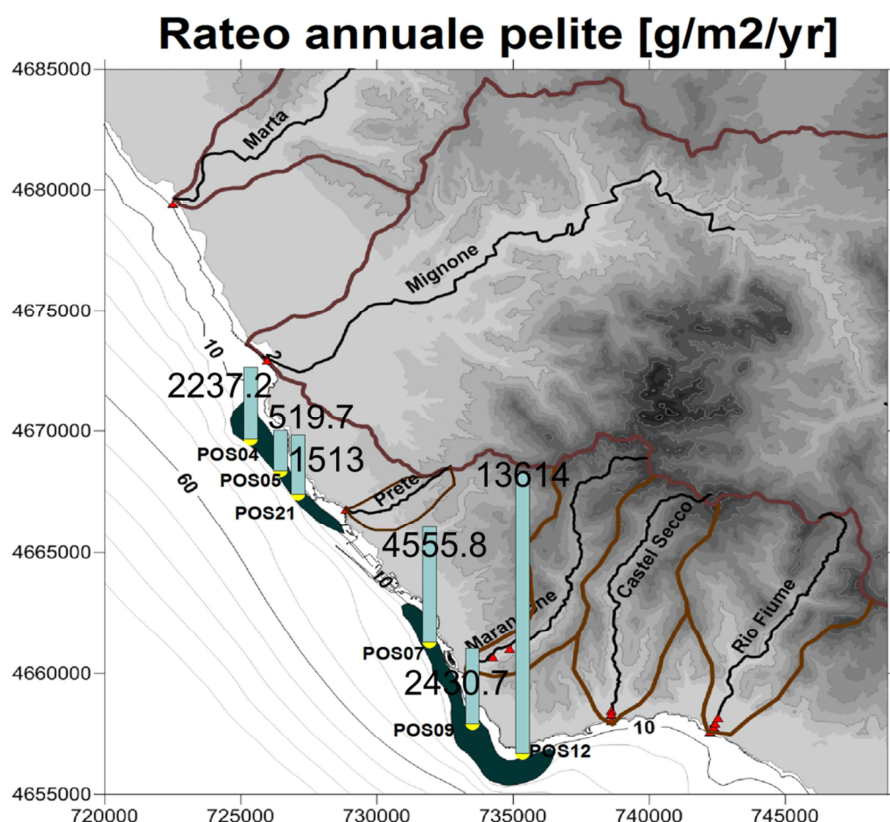


Fig.6.44 : Rateo sedimentario annuale della frazione pelitica nelle stazioni di campionamento (valore medio)

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

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

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

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

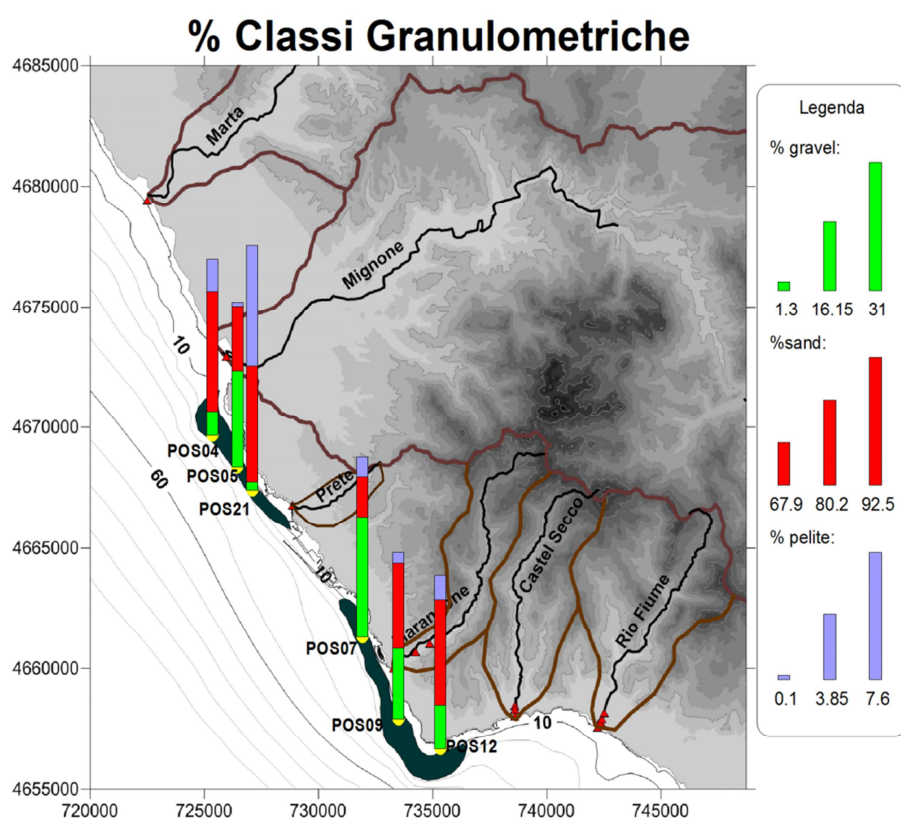


Fig. 6.45 : Distribuzione delle percentuali delle tre classi granulometriche considerate nelle stazioni di campionamento

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

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

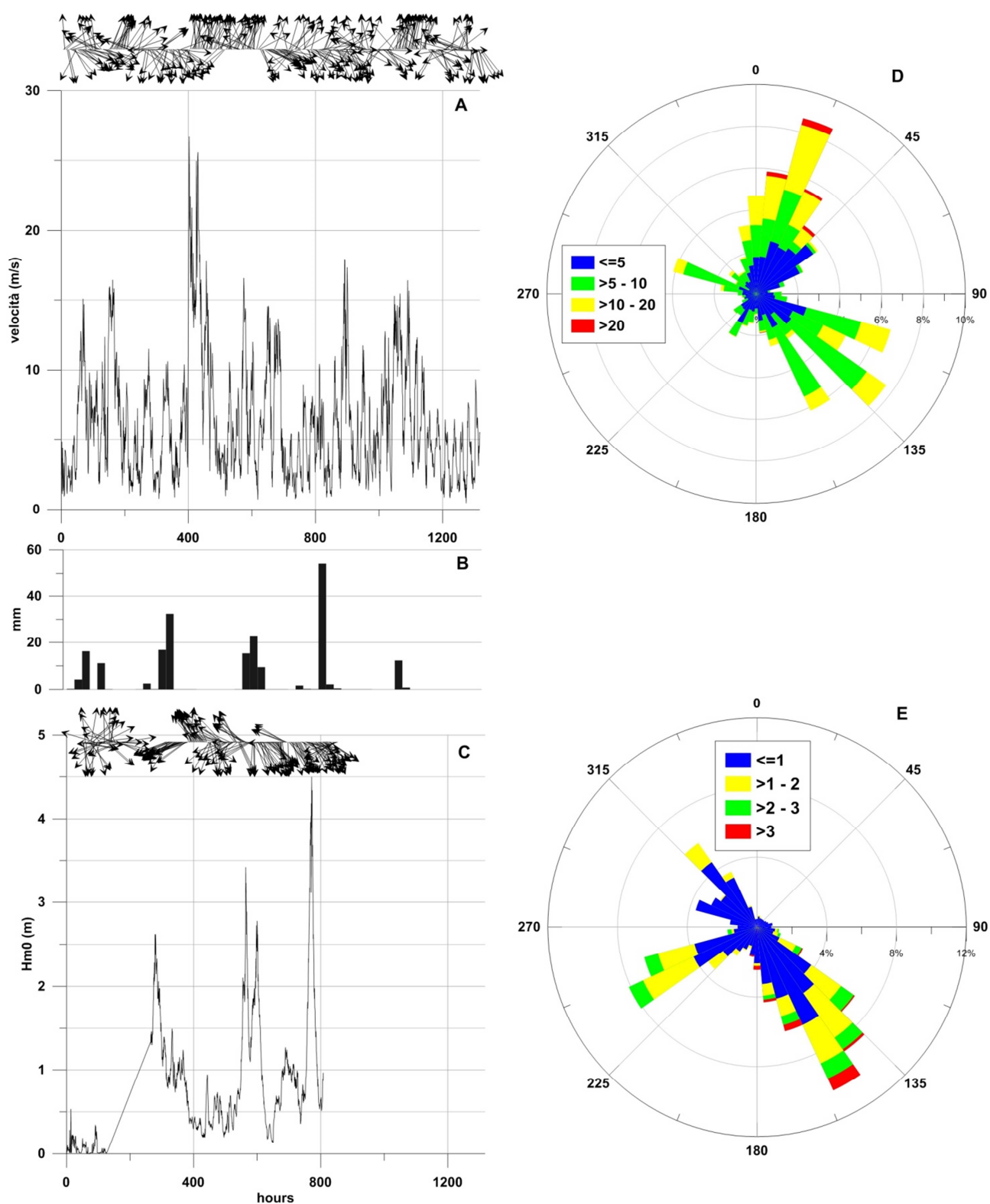


Fig. 6.46: Condizioni meteomarine che si sono verificate durante il periodo di permanenza delle trappole di sedimento. A) Serie temporale anemometrica, B) Serie temporale pluviometrica, C) Serie temporale ondometrica, D) Clima anemometrico, E) Clima ondoso.

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

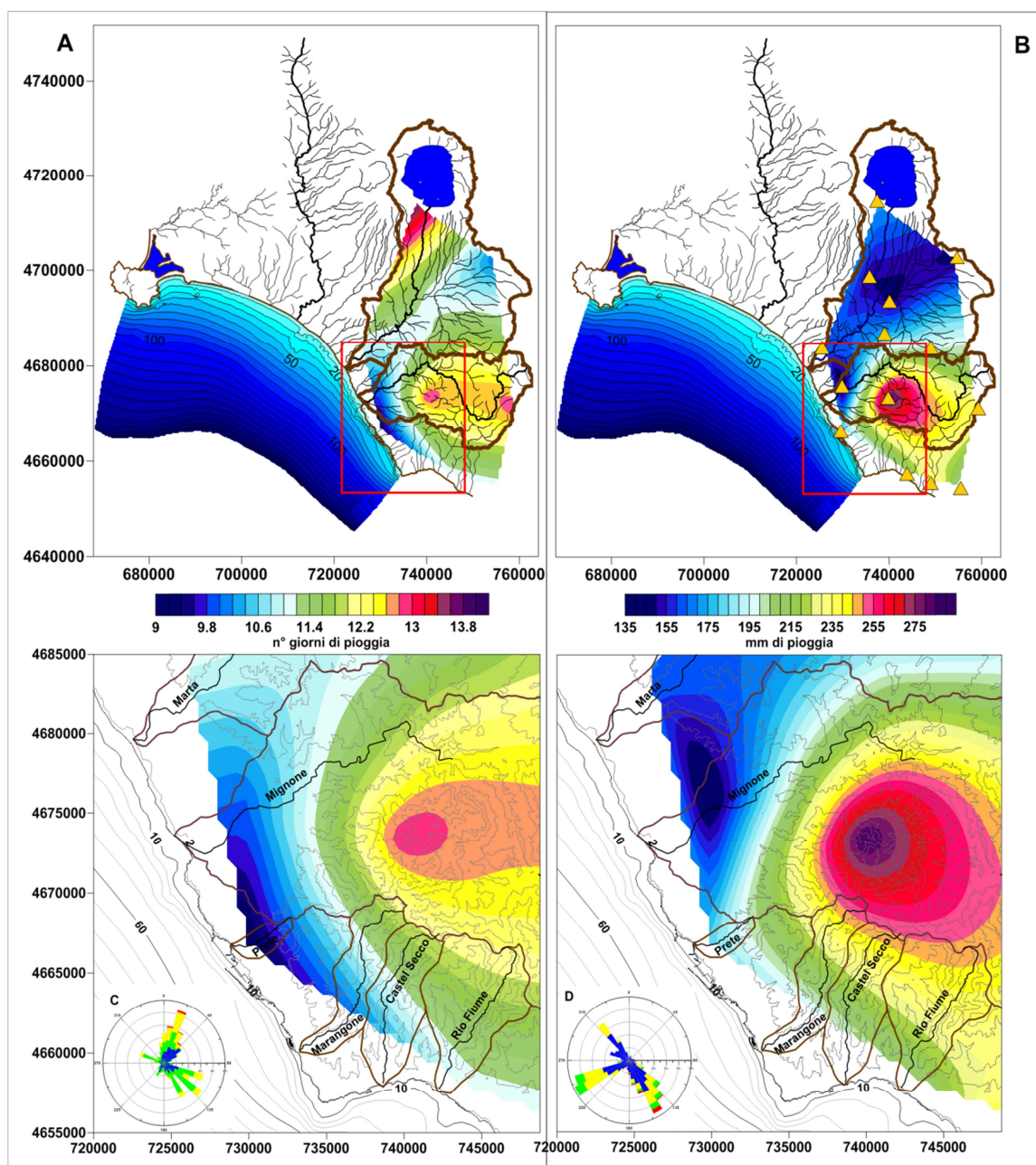


Fig. 6.47 : Distribuzione del regime pluviometrico occorso nel periodo di campionamento. I triangoli gialli indicano le stazioni pluviometriche considerate.

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

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

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

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

In generale tutti i campioni ottenuti dalle trappole di sedimento mostrano una forte influenza delle granulometrie sabbiose e ghiaiose che possono essere ricondotte alla risospensione del materiale del fondo. In particolare, i valori massimi del rateo deposizionale totale, coincidenti con la stazione POS12, che riguardano anche la frazione pelitica, sono presumibilmente influenzati dalla risospensione di materiale autoctono a causa delle particolari condizioni meteomarine accadute durante la campagna di campionamento. L'elevata componente organogena dei clasti, risulta inoltre in accordo con i dati presenti in letteratura (Frezza et al., 2011).

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

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

1.5.6.4.1. Analisi granulometria dei sedimenti all'interno delle praterie di Posidonia oceanica

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

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

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

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

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

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

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

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

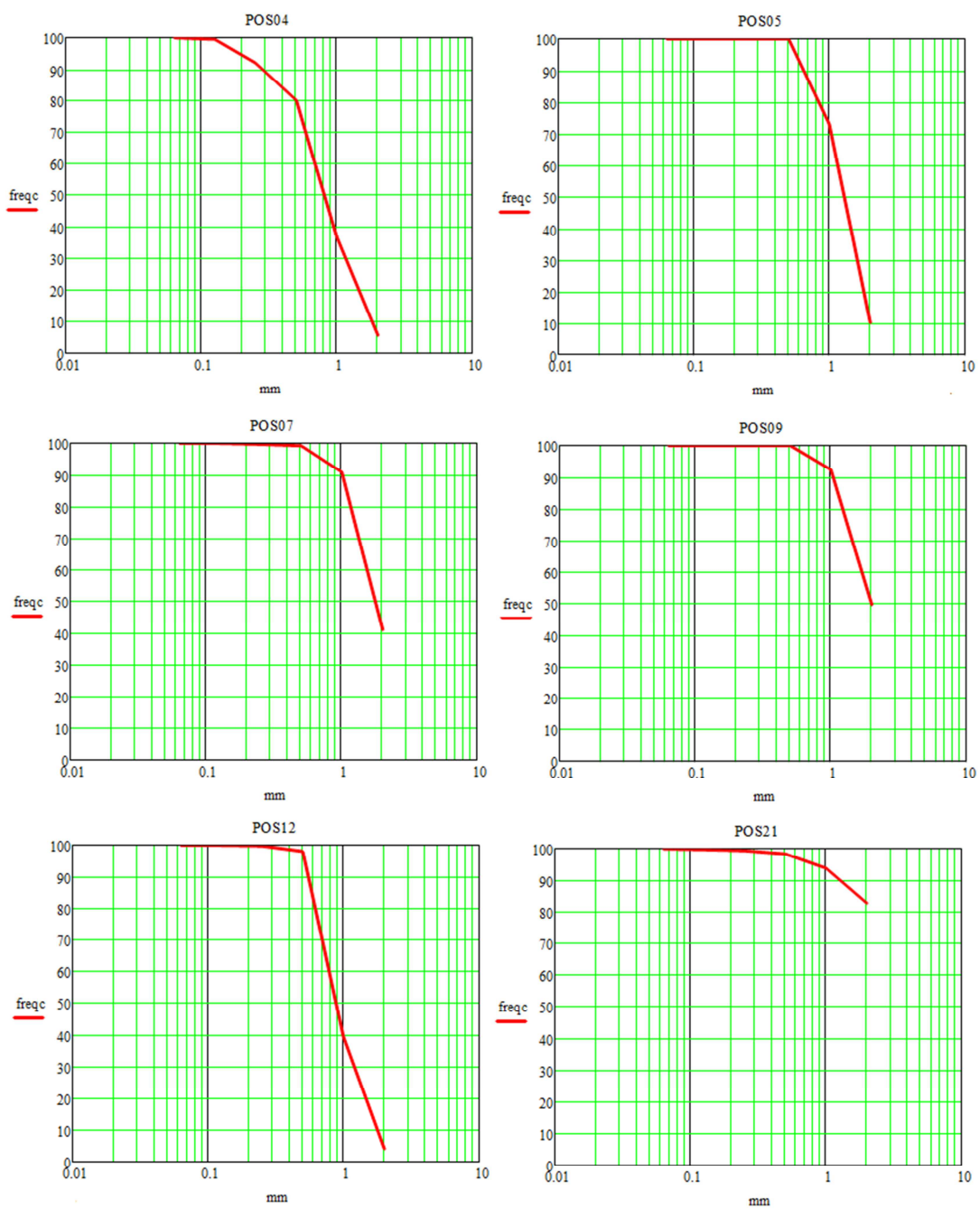


Fig. 6.48 : Curve granulometriche dei campioni prelevati nelle 6 stazioni fisse di monitoraggio.

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

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

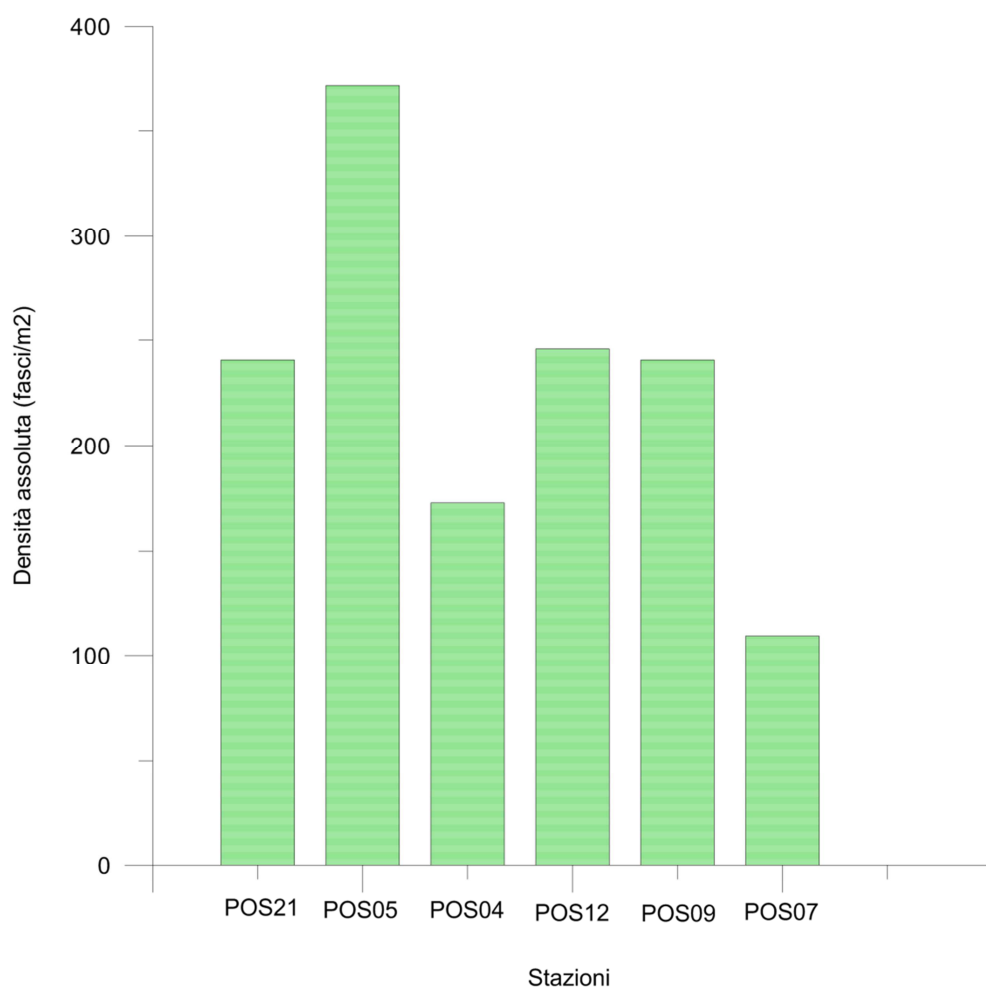


Fig. 6.49 : Densità assoluta nelle 6 stazioni monitorate

Per quanto riguarda il parametro di densità assoluta il valore medio più alto è stato registrato nella stazione POS05, situata nel SIC Nord, mentre il valore più basso è stato registrato nella stazione POS07, situata nel SIC Sud. Dalle analisi fenologiche non sono emerse differenze significative tra le stazioni relativamente al numero di foglie per fascio fogliare, alla larghezza media delle foglie ed ai rapporti tra le foglie appartenenti ai 3 diversi ranghi. Piccole differenze sono state registrate analizzando la lunghezza fogliare con range di valori che oscillano tra 13.4 cm (POS21) e 25.2 cm (POS09). L'indice di superficie fogliare (LAI) varia tra 53.9 (POS21) e 116.7 (POS09). I valori di biomassa fogliare non hanno mostrato importati variazioni tra le differenti stazioni.

1.5.6.5. Analisi delle simulazioni numeriche

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

1.5.6.5.1. Analisi delle correnti marine

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

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

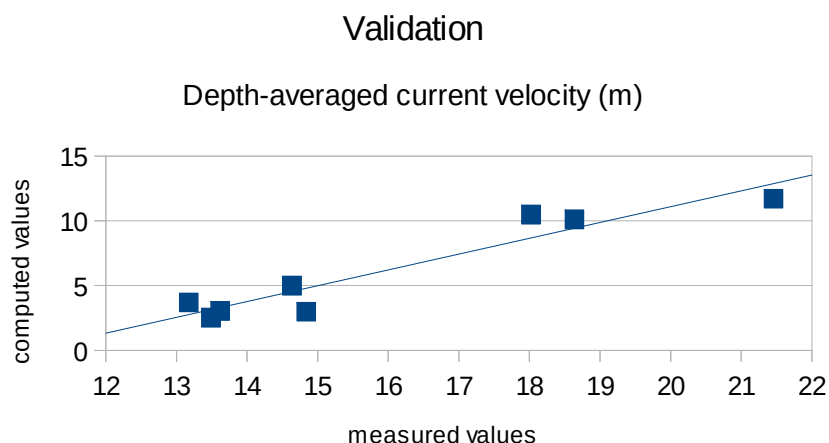


Fig. 6.50 : confronto tra dati misurati durante le campagne ADCP e dati calcolati dal modello DELFT3D-FLOW relativi all'altezza d'onda significativa.

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

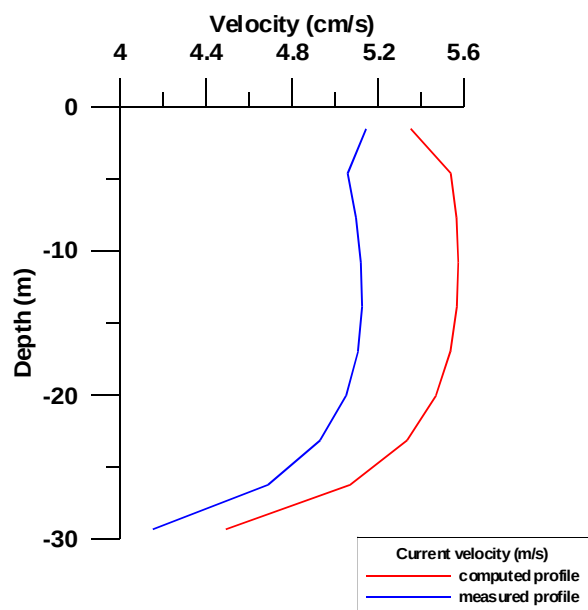


Fig. 6.51: confronto tra profili di velocità della corrente marina. In blu il profilo misurato dalla sonda ADCP e in rosso quello calcolato dal modello DELFT3D-FLOW.

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

Situazione antecedente al 2012

Scenario Libeccio (236°N)

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

Scenario Mezzogiorno (170°N)

Con queste condizioni si osserva la formazione di un flusso orientato da sud verso nord che presenta velocità comprese tra 0 – 0.8 m/s. L'area di maggior intensificazione della corrente è situata nella zona di largo. Una maggiore intensificazione del flusso costiero si osserva in

corrispondenza di Capo Linaro mentre il tratto costiero di Civitavecchia è caratterizzato da basse intensità della corrente probabilmente generate dall'effetto ombra prodotto da Capo Linaro sul questo settore costiero. Osservando nel dettaglio l'area portuale si osserva un flusso pressoché unidirezionale verso Nord di lieve intensità (< 0.1 m/s) che subisce un intensificazione procedendo verso largo ed in corrispondenza dell'antemurale del porto.

Scenario Libeccio/Mezzogiorno (200°N)

Con queste condizioni si osserva la formazione di un flusso orientato da sud verso nord che presenta velocità comprese tra $0.3 - 0.8$ m/s. L'area di maggior intensificazione della corrente è situata nella porzione prossima alla costa e comprende tutto il settore costiero esteso da Capo Linaro a Sant'Agostino dove si osservano le velocità maggiori soprattutto in corrispondenza di Capo Linaro.

Osservando nel dettaglio l'area portuale si osserva un flusso di intensità compreso tra $0.3 - 0.6$ m/s che subisce una riduzione significativa a nord dell'imboccatura portuale per effetto ombra prodotto dall'antemurale. Inoltre si osserva la formazione di un vortice orario ben definito a sud del Molo Carbone.

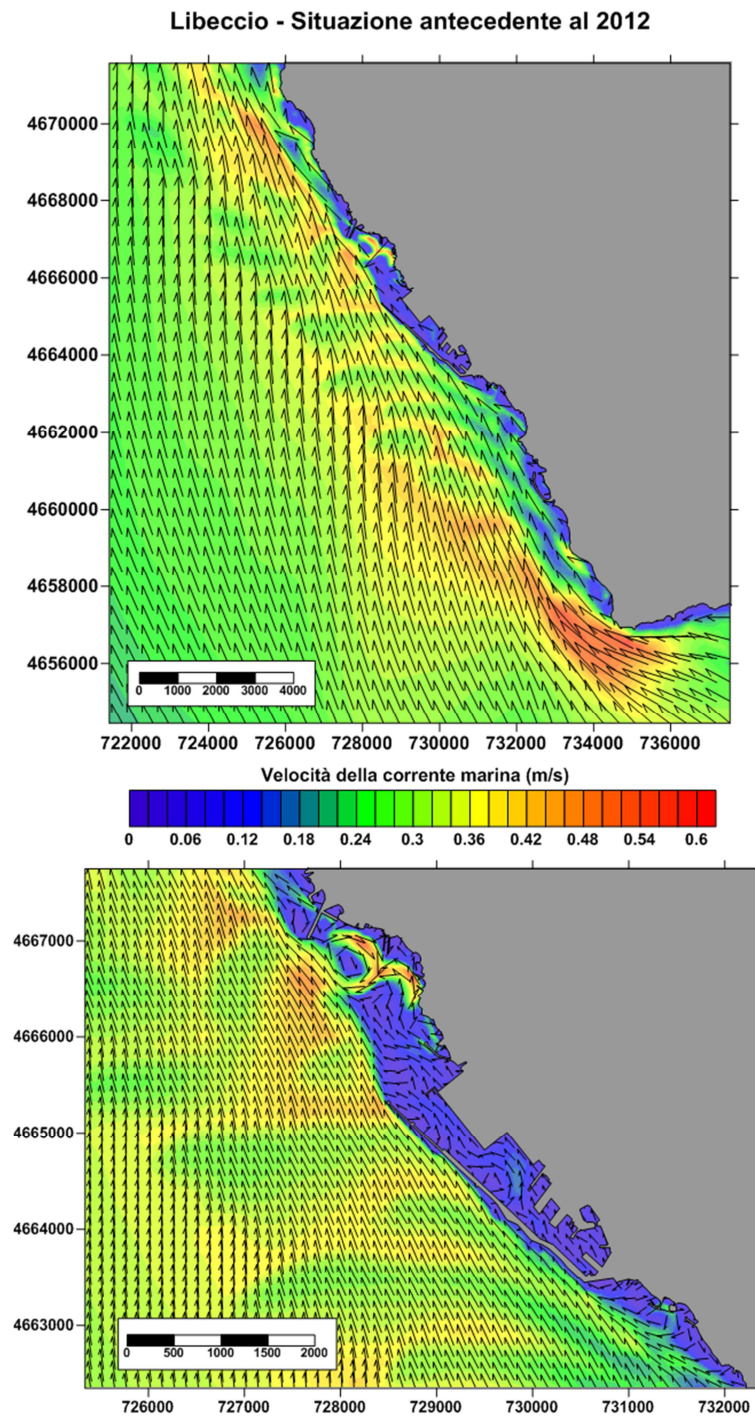


Fig. 6.52 : campo idrodinamico indotto dallo scenario di Libeccio (situazione antecedente al 2012).

Scenario Ponente (281°N)

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

Opere del 1° lotto funzionale

Scenario Libeccio (236°N)

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

Scenario Mezzogiorno (170°N)

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

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

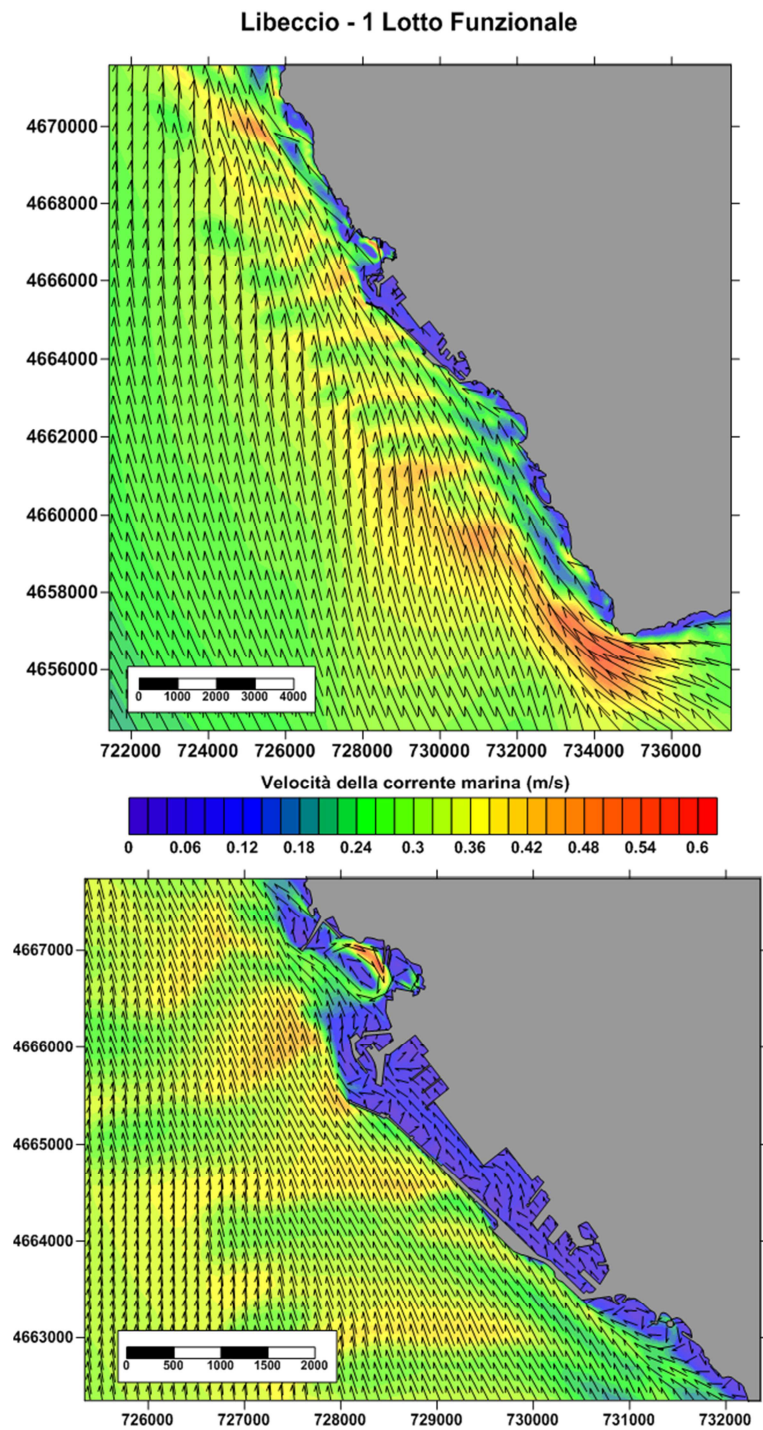


Fig.6.53 : campo idrodinamico indotto dallo scenario di Libeccio con le opere del 1LF.

Scenario Libeccio/Mezzogiorno (200°N)

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

Scenario Ponente (281°N)

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

Darsena Energetica Grandi Masse (DEGM)

Scenario Libeccio (236°N)

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

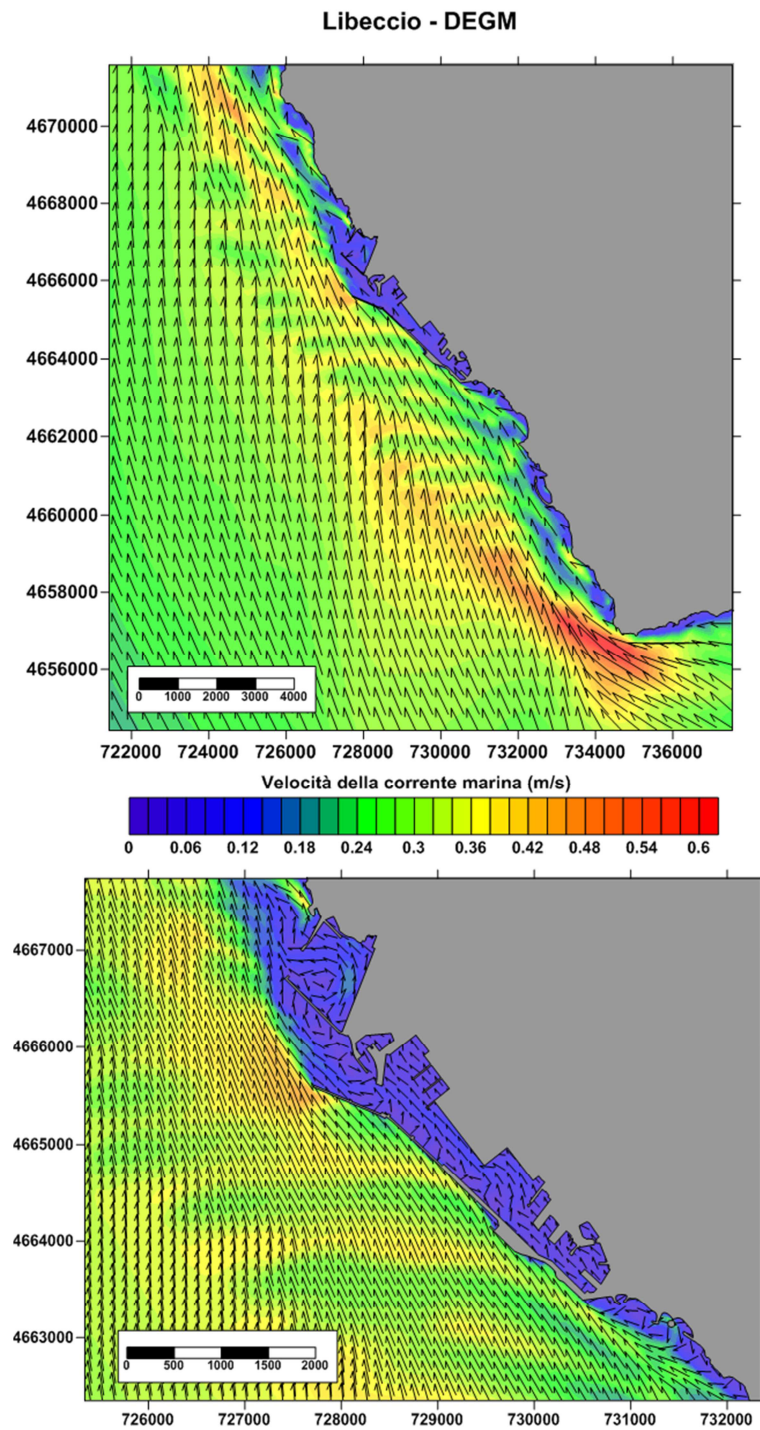


Fig. 6.54 : campo idrodinamico indotto dallo scenario di Libeccio con la DEGM.

Scenario Mezzogiorno (170°N)

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

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

Scenario Libeccio/Mezzogiorno (200°N)

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

Scenario Ponente (281°N)

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

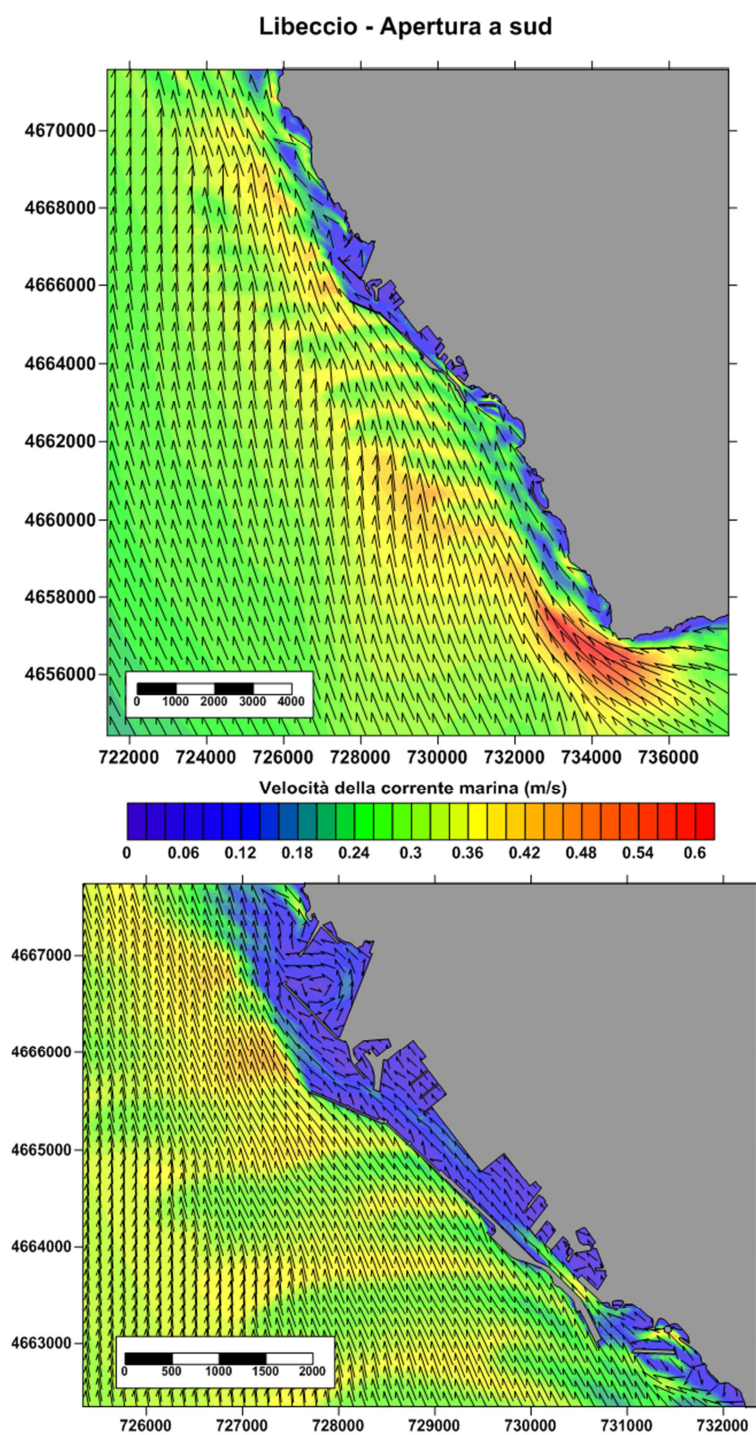


Fig. 6.55 : campo idrodinamico indotto dallo scenario di Libeccio con le opere del 2LF (Apertura a sud)

Opere del 2° lotto funzionale (Apertura a Sud)

Scenario Libeccio (236°N)

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

Scenario Mezzogiorno (170°N)

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

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

Scenario Libeccio/Mezzogiorno (200°N)

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

Scenario Ponente (281°N)

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

in uscita del varco meridionale ed una riduzione dell'intensità del campo idronamico a ridosso del litorale della Marina e Lega Navale.

1.5.6.5.2. Analisi del moto ondoso

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

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

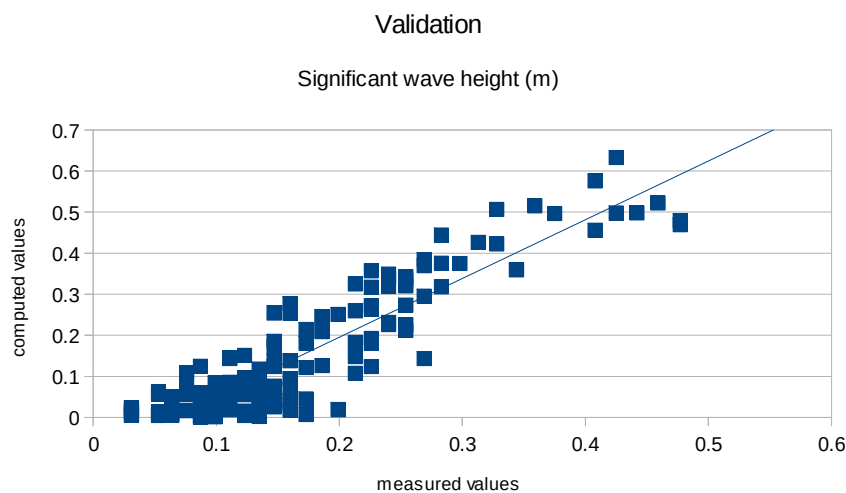


Fig. 6.56 : confronto tra dati misurati dalla boa Agiotec e dati calcolati dal modello SWAN relativi all'altezza d'onda significativa.

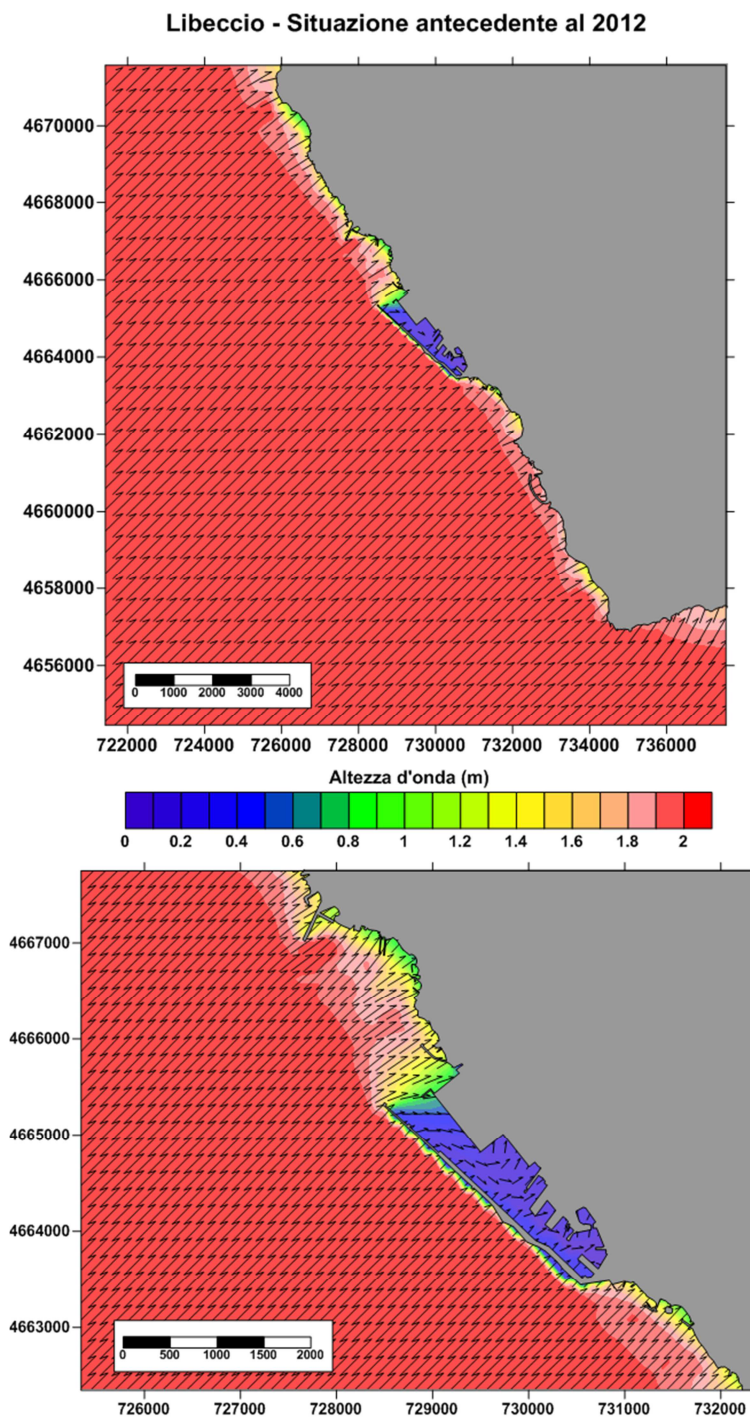


Fig. 6.57 : campo d'onda indotto dallo scenario di Libeccio (situazione antecedente al 2012)

Situazione antecedente al 2012

Scenario Libeccio (236°N)

In presenza di onde provenienti dalla direzione di libeccio si osserva un fronte d'onda con angolo d'incidenza prevalentemente perpendicolare a costa. Il moto ondoso si distribuisce in maniera piuttosto uniforme lungo la costa tra Capo Linaro e Sant'Agostino creando delle zone di

dissipazione e concentrazione in funzione della morfologia del fondale. A sud di Capo Linaro invece le onde presentano un angolo d'incidenza obliquo e per effetto della rifrazione si osserva una rotazione del fronte (Fig. 6.57).

Scenario Mezzogiorno (170°N)

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

Scenario Libeccio/Mezzogiorno (200°N)

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

Scenario Ponente (281°N)

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

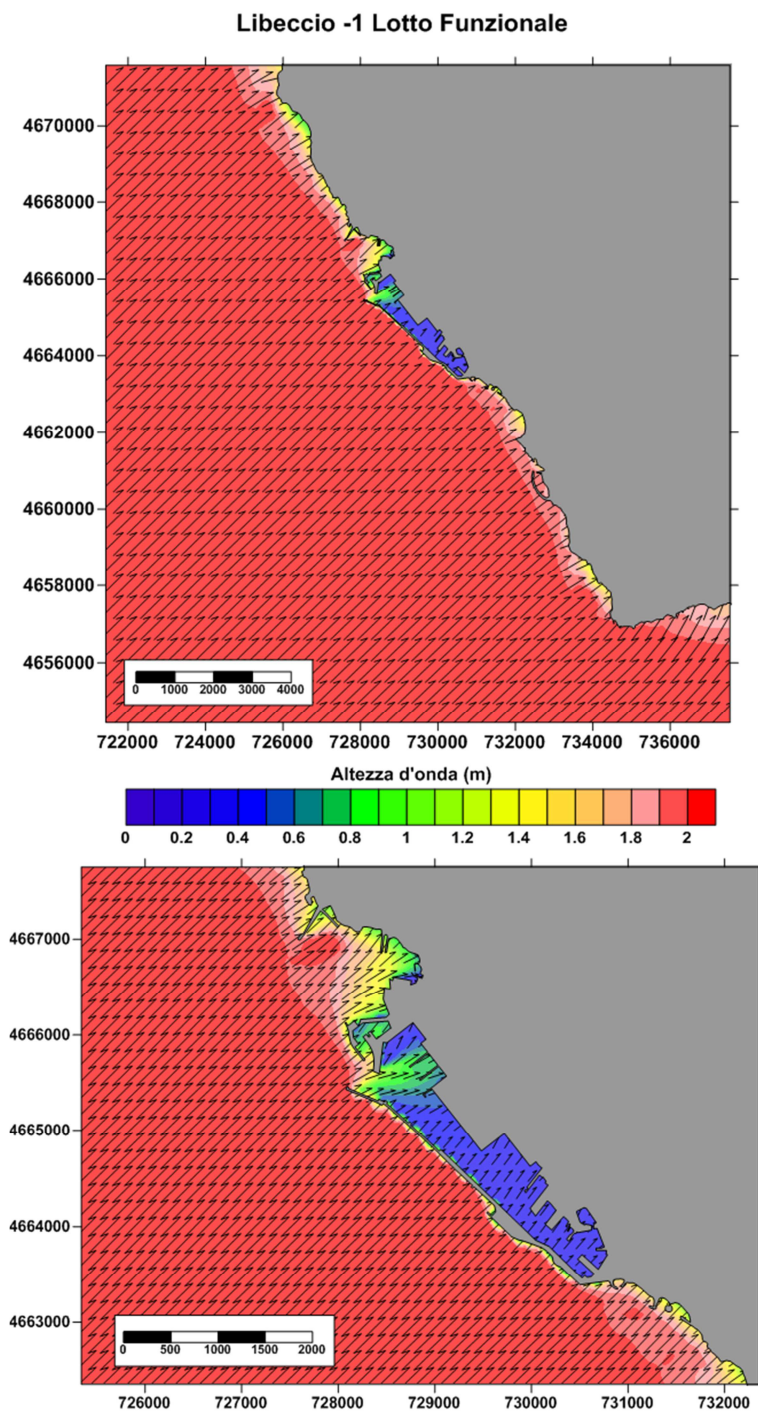


Fig. 6.58 : campo d'onda indotto dallo scenario di Libeccio con le opere del 1LF

Opere del 1° lotto funzionale

Scenario Libeccio (236°N)

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

Scenario Mezzogiorno (170°N)

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

Scenario Libeccio/Mezzogiorno (200°N)

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

Scenario Ponente (281°N)

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

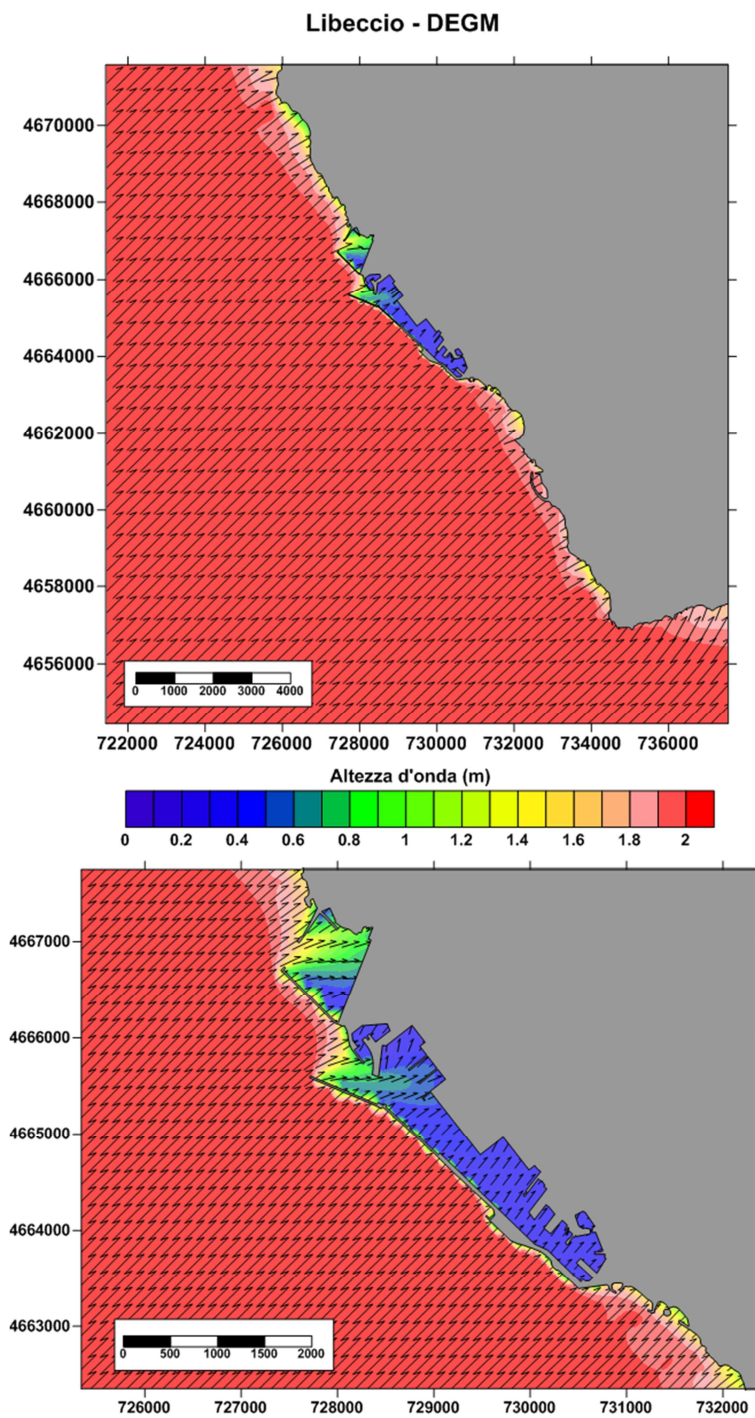


Fig. 6.59 : campo d'onda indotto dallo scenario di Libeccio con DEGM.

Darsena Energetica Grandi Masse (DEGM)

Scenario Libeccio (236°N)

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

onde si propagano per diffrazione (Fig. 6.59).

Scenario Mezzogiorno (170°N)

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

Scenario Libeccio/Mezzogiorno (200°N)

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

Scenario Ponente (281°N)

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

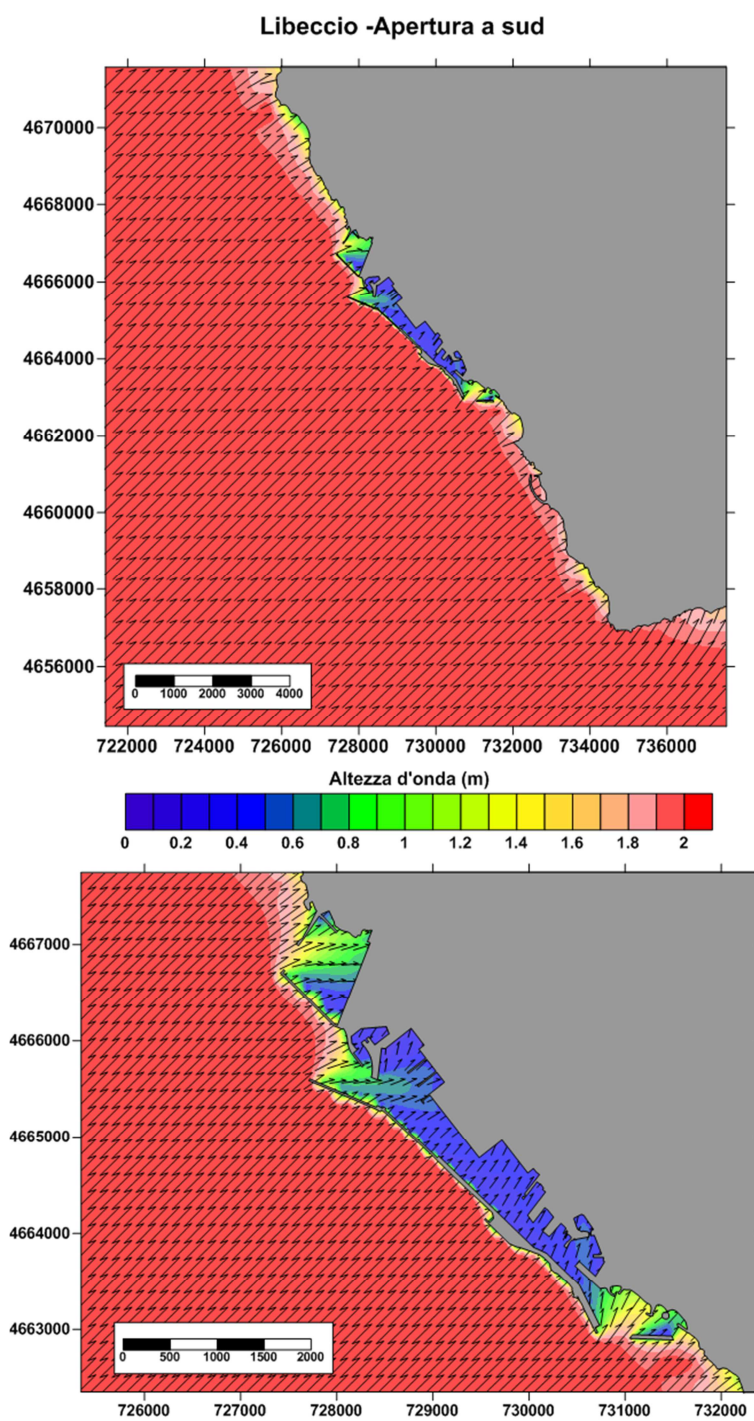


Fig.6.60 : campo d'onda indotto dallo scenario di Libeccio con le opere del 2LF (Apertura a sud)

Opere del 2° lotto funzionale (Apertura a Sud)

Scenario Libeccio (236°N)

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

Scenario Mezzogiorno (170°N)

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

Scenario Libeccio/Mezzogiorno (200°N)

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

Scenario Ponente (281°N)

In presenza di onde provenienti dalla direzione di ponente si osserva un fronte d'onda con angolo d'incidenza obliquo rispetto all'orientazione della costa, nel tratto tra Capo Linaro e Sant'Agostino, subendo per effetto della rifrazione un'importante rotazione. Il settore sud risulta estremamente riparato da questa direzione del moto ondoso. Nel dettaglio relativo all'area portuale è possibile vedere come la nuova struttura generi una riduzione dell'intensità dell'onda lungo il tratto costiero della Marina e della Lega Navale.

1.5.6.5.3. Risultati delle simulazioni relative alla dispersione del sedimento

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

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

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

Scenario 1

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

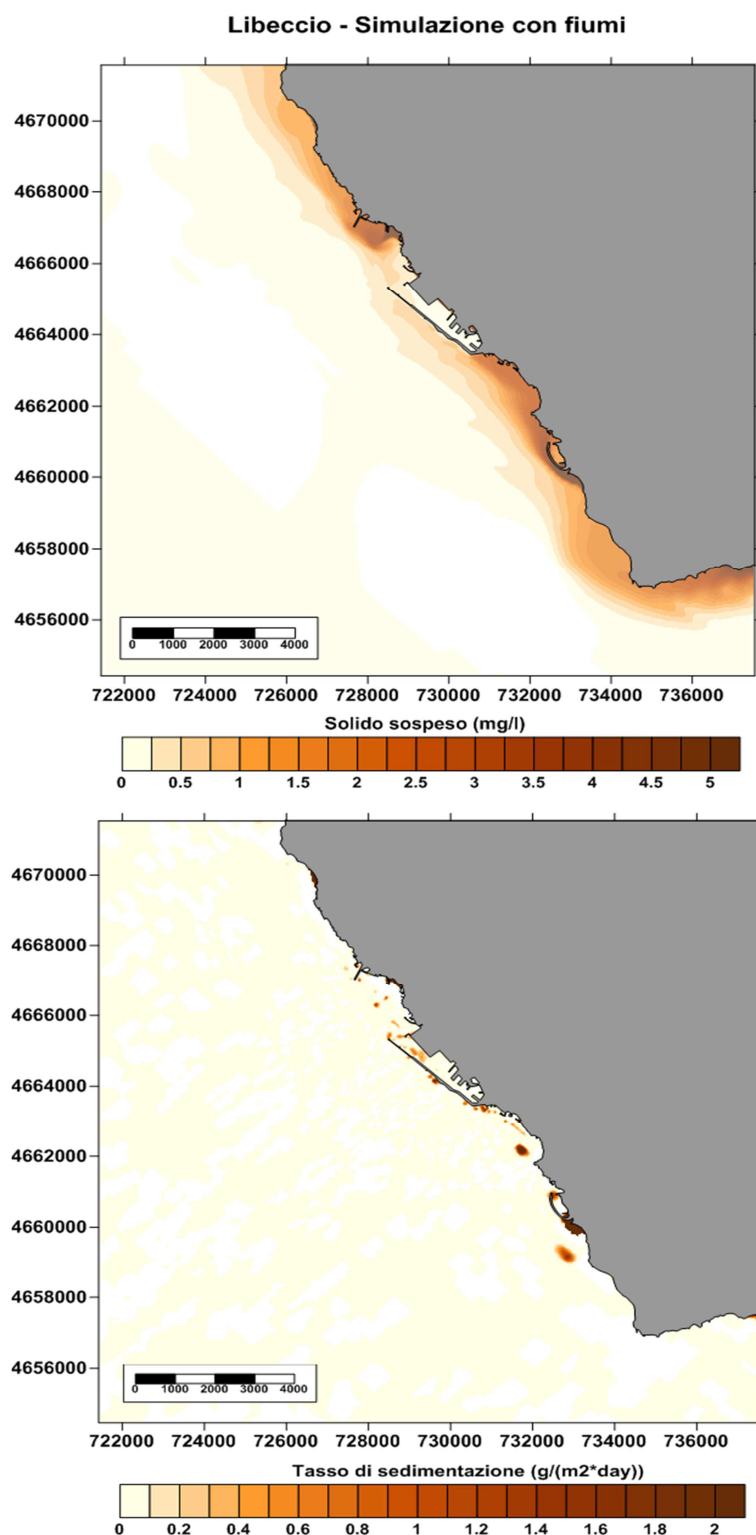


Fig.6.61 : distribuzione del solido in sospensione (in alto) e del tasso di sedimentazione (in basso) dovuto al trasporto dei principali corsi d'acqua del tratto di costa oggetto di studio (Libeccio)

Nello scenario di Mezzogiorno la zona con elevati valori di solido sospeso è più estesa di quella prodotta dal Libeccio. Le aree in cui si rinvenivano le concentrazioni più alte sono tuttavia le stesse rispetto a quelle esaminate nel caso precedente. Le condizioni meteomarine riprodotte in questo scenario determinano un'elevata sedimentazione lungo una zona che si estende per circa 4 km

parallelamente a costa, dal porto di Civitavecchia fino a Capo Linaro. Elevati valori del tasso di sedimentazione (circa $2.25 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{day})$) sono presenti anche in corrispondenza di Punta S. Agostino.

Una simile distribuzione del solido sospeso si verifica anche durante lo scenario di Libeccio-Mezzogiorno in cui non si ha più una netta separazione tra le acque costiere, caratterizzate da elevate concentrazioni di materiale in sospensione, e quelle di largo che presentano invece bassi valori. In questo caso le zone con i più elevati valori di sedimentazione si trovano a sud di Capo Linaro ($1.4 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{day})$), nei pressi della foce del fiume Marangone ($> 2 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{day})$) e all'interno del porto di Civitavecchia ($1.1 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{day})$).

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

Scenario 2

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

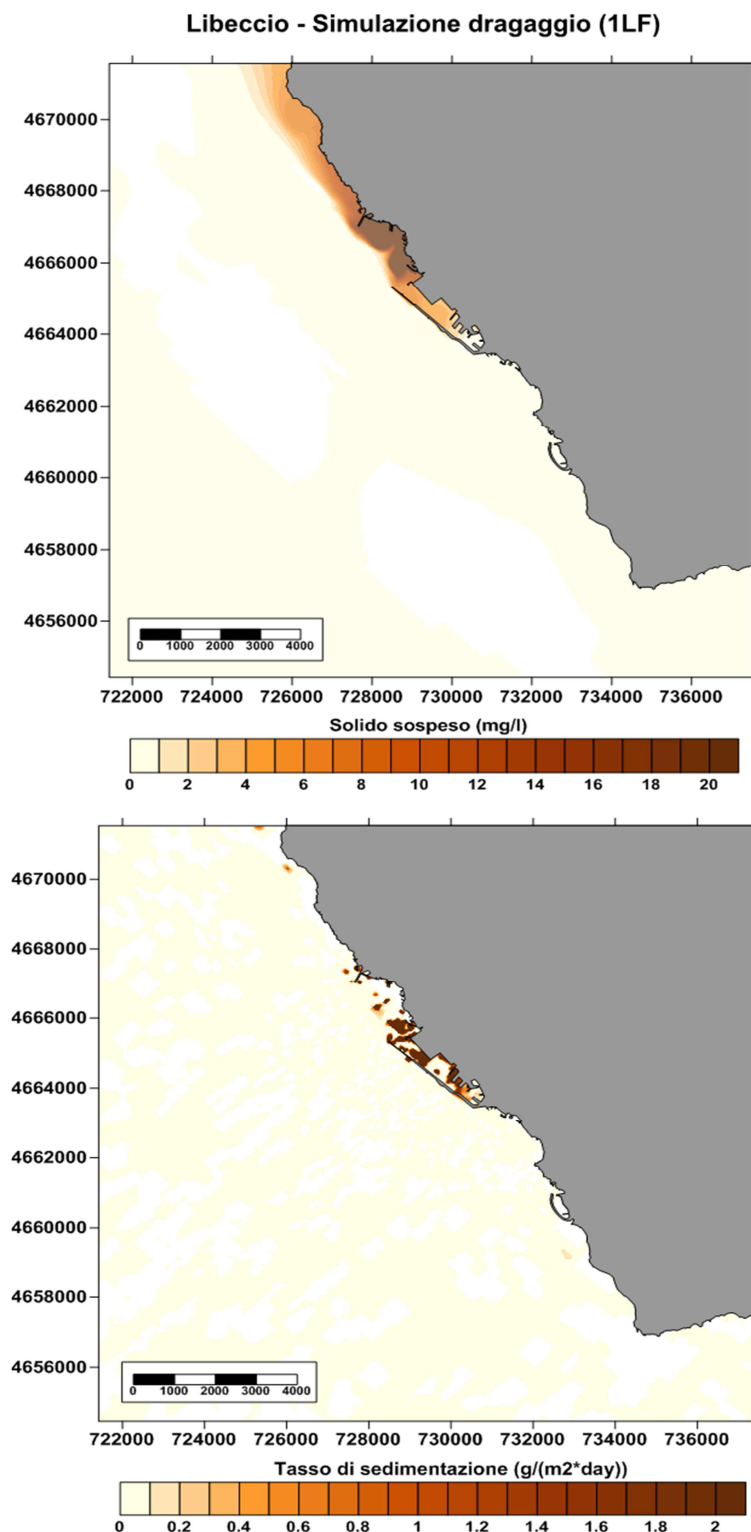


Fig.6.62 : distribuzione del solido in sospensione (in alto) e del tasso di sedimentazione (in basso) dovuto alle operazioni di dragaggio per le opere del 1LF (Libeccio)

Nelle condizioni meteomarine che caratterizzano lo scenario di Mezzogiorno la maggior parte del sedimento dragato si disperde all'interno del porto di Civitavecchia mentre una frazione minore viene trasportata verso nord. La concentrazione del solido sospeso all'interno del porto risulta essere quindi quella più elevata con valori maggiori di 20 mg/l, mentre in corrispondenza di Punta

Sant'Agostino si registrano valori di circa 5 mg/l. Questa condizione favorisce anche una significativa risospensione di sedimento presente nella zona a sud dove sono presenti concentrazioni di solido sospeso di circa 2.5 mg/l. Così come nella parte a nord, anche in questa zona sono presenti elevati valori del tasso di sedimentazione ($> 2 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{day})$) che si concentrano in un'area parallela alla linea di costa.

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

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

Scenario 3

Considerato che il punto di immissione dei sedimenti prodotti dalle attività di dragaggio per la costruzione della Darsena Energetica Grande Masse è molto vicino a quello che riproduce i lavori per le opere del 1°Lotto Funzionale, i risultati delle simulazioni dello “Scenario 2” e dello “Scenario 3” risultano molto simili tra loro. Tuttavia i valori di solido sospeso e del tasso di sedimentazione calcolati nelle simulazioni relative allo “Scenario 3” sono maggiori di quelli relativi allo “Scenario 2” in quanto il volume dragato per la DEGM è circa cinque volte maggiore di quello movimentato per le opere del 1LF (5340000 m^3 vs 1120000 m^3). Va inoltre sottolineato che la costruzione della DEGM determina nelle condizioni di Mezzogiorno una zona che si estende per circa 2 km a nord del molo della centrale ENEL caratterizzata da elevati valori del tasso di sedimentazione ($> 4 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{day})$).

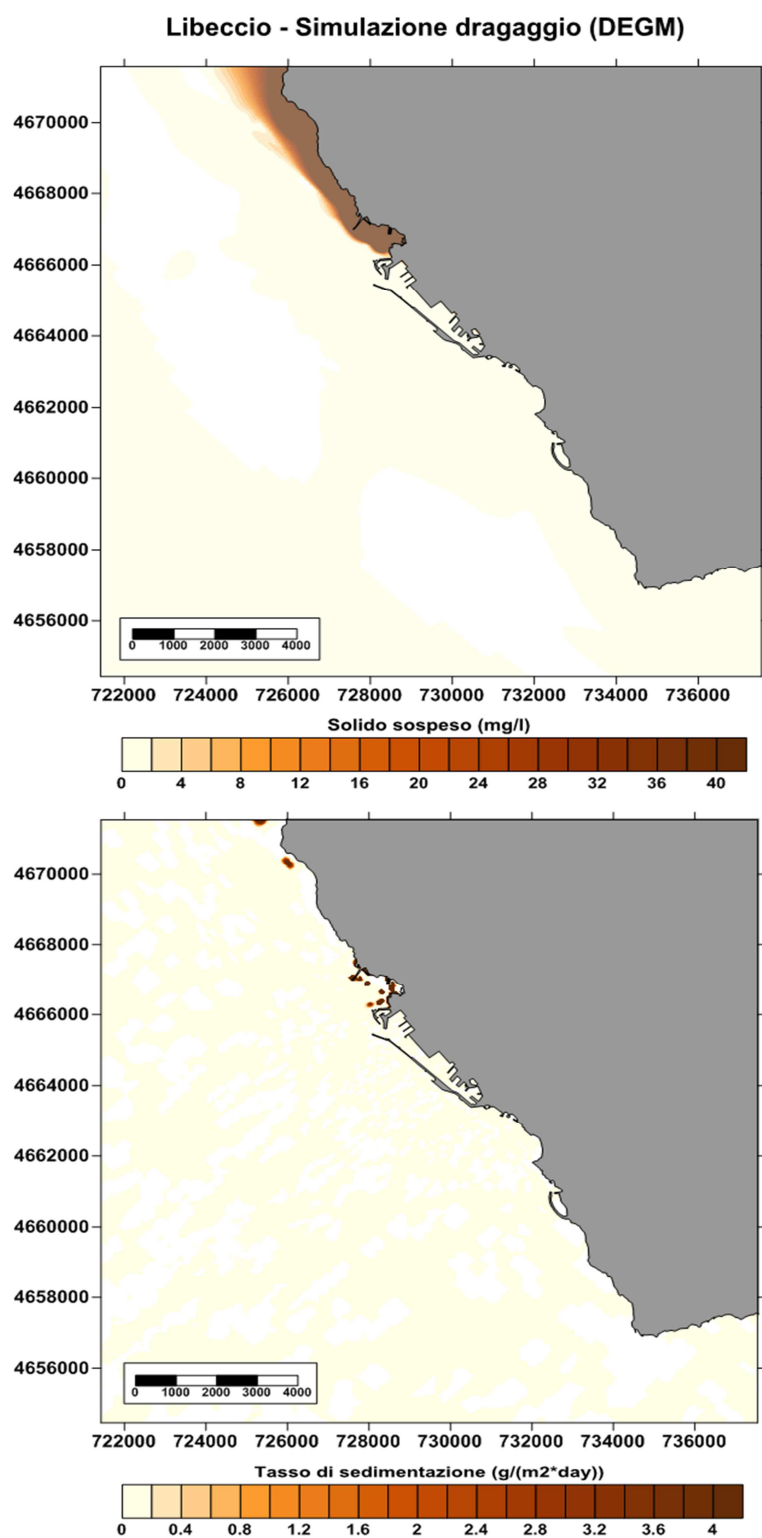


Fig.6.63 : distribuzione del solido in sospensione (in alto) e del tasso di sedimentazione (in basso) dovuto alle operazioni di dragaggio per la DEGM (Libeccio)

Scenario 4

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

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

La distribuzione del solido sospeso ottenuta dalle condizioni di Libeccio-Mezzogiorno è simile a quella prodotta dagli scenari di Libeccio e Mezzogiorno. La deposizione della maggior parte del materiale avviene all'interno del porto e nella zona in cui verrà costruita la Darsena Energetica Grandi Masse.

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

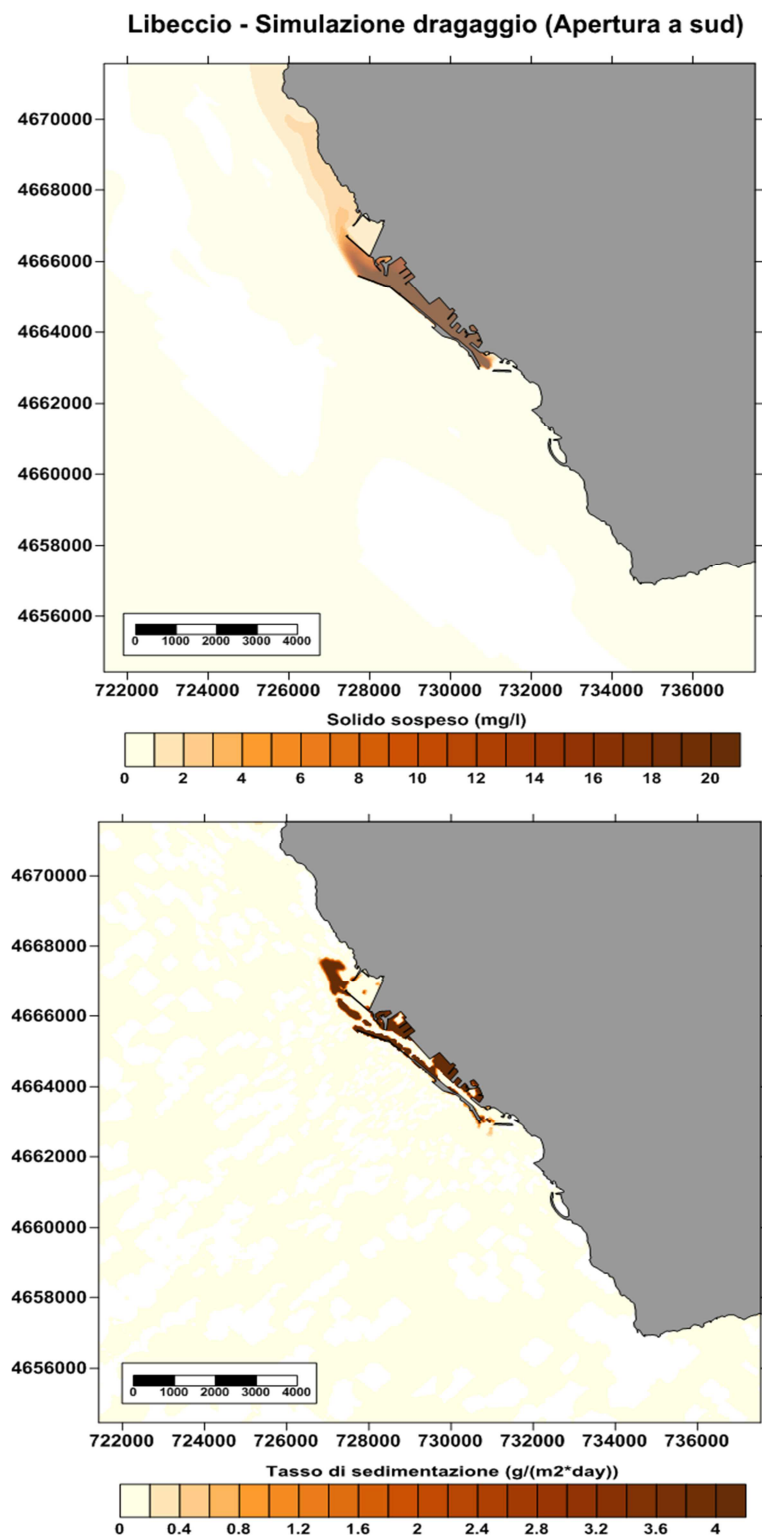


Fig.6.64 : distribuzione del solido in sospensione (in alto) e del tasso di sedimentazione (in basso) dovuto alle operazioni di dragaggio per le opere del 2LF (Apertura a sud) (Libeccio).

1.5.6.6. 1.5.6.6. Stima dei degli impatti potenziali sui SIC

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

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

Scenario 1

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

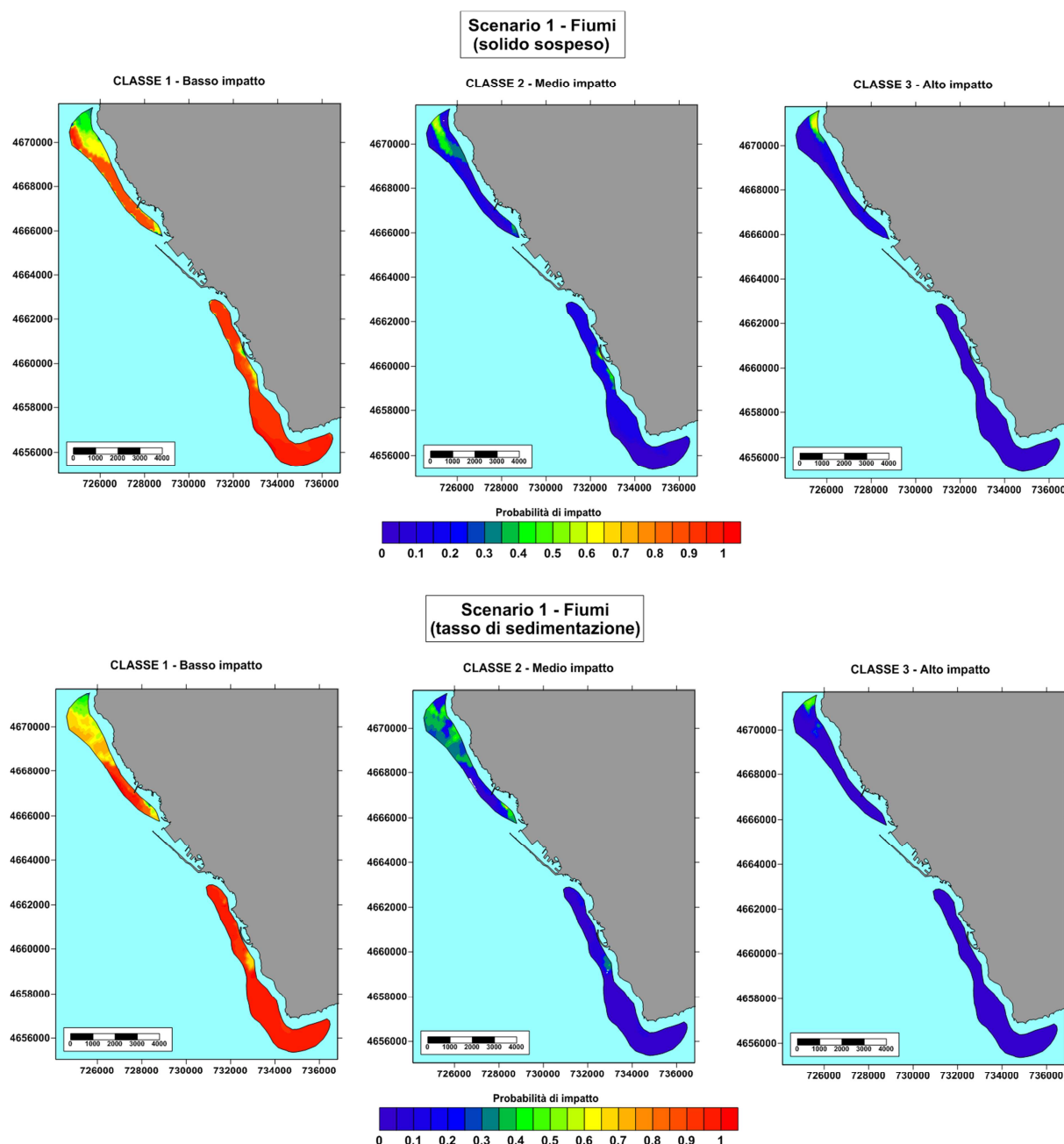


Fig. 6.65 : Mappe dell'indice D3I per bassa, media e alta probabilità d'impatto dovuti all'apporto solido fluviale. In alto gli impatti generati dal sedimento in sospensione, in basso quelli dovuti al tasso di sedimentazione.

Scenario 2

Le attività di dragaggio relative alla realizzazione del 1LF determinano una concentrazione di solido sospeso che produce un medio impatto, con probabilità maggiore del 50 %, nella metà meridionale del SIC a nord. Nella stessa area, gli effetti prodotti dall'elevato tasso di sedimentazione sono meno estesi rispetto a quelli dovuti all'aumento di torbidità, anche se nella zona prossima alle operazioni di dragaggio si riscontra una zona con significative probabilità (> 60

%) di alto impatto. Le operazioni di dragaggio non provocano effetti significativi nel SIC IT6000006 in quanto le probabilità di ricadere nella CLASSE1 (Basso impatto) sono quasi del 100 % nell'intera superficie.

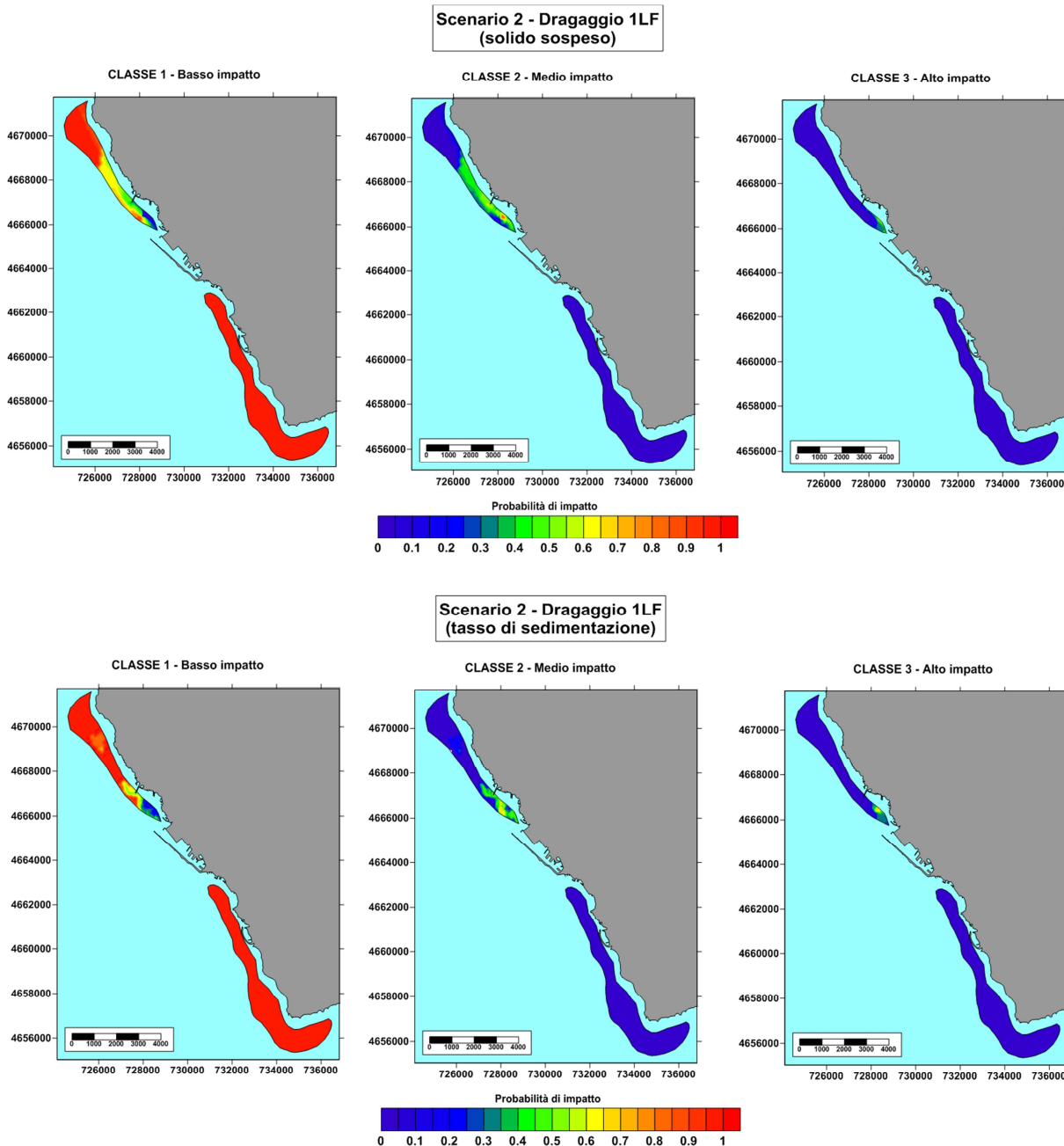


Fig. 6.66 : Mappe dell'indice D3I per bassa, media e alta probabilità d'impatto dovuti alle operazioni di dragaggio per le opere del 1LF. In alto gli impatti generati dal sedimento in sospensione, in basso quelli dovuti al tasso di sedimentazione.

Scenario 3

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

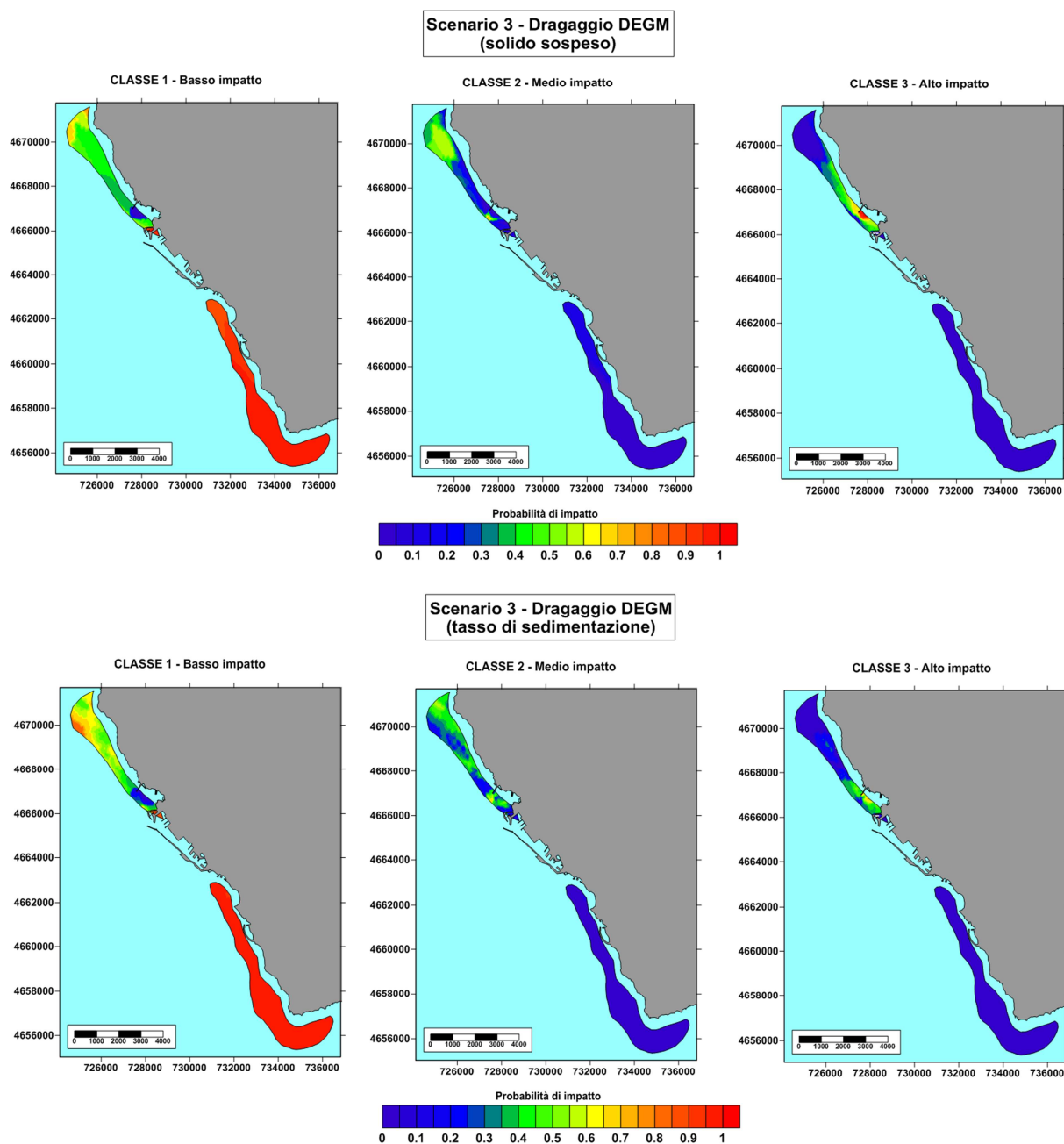


Fig. 6.67 : Mappe dell'indice D3I per bassa, media e alta probabilità d'impatto dovuti alle operazioni di dragaggio per le opere della DEGM. In alto gli impatti generati dal sedimento in sospensione, in basso quelli dovuti al tasso di sedimentazione.

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

Scenario 4

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

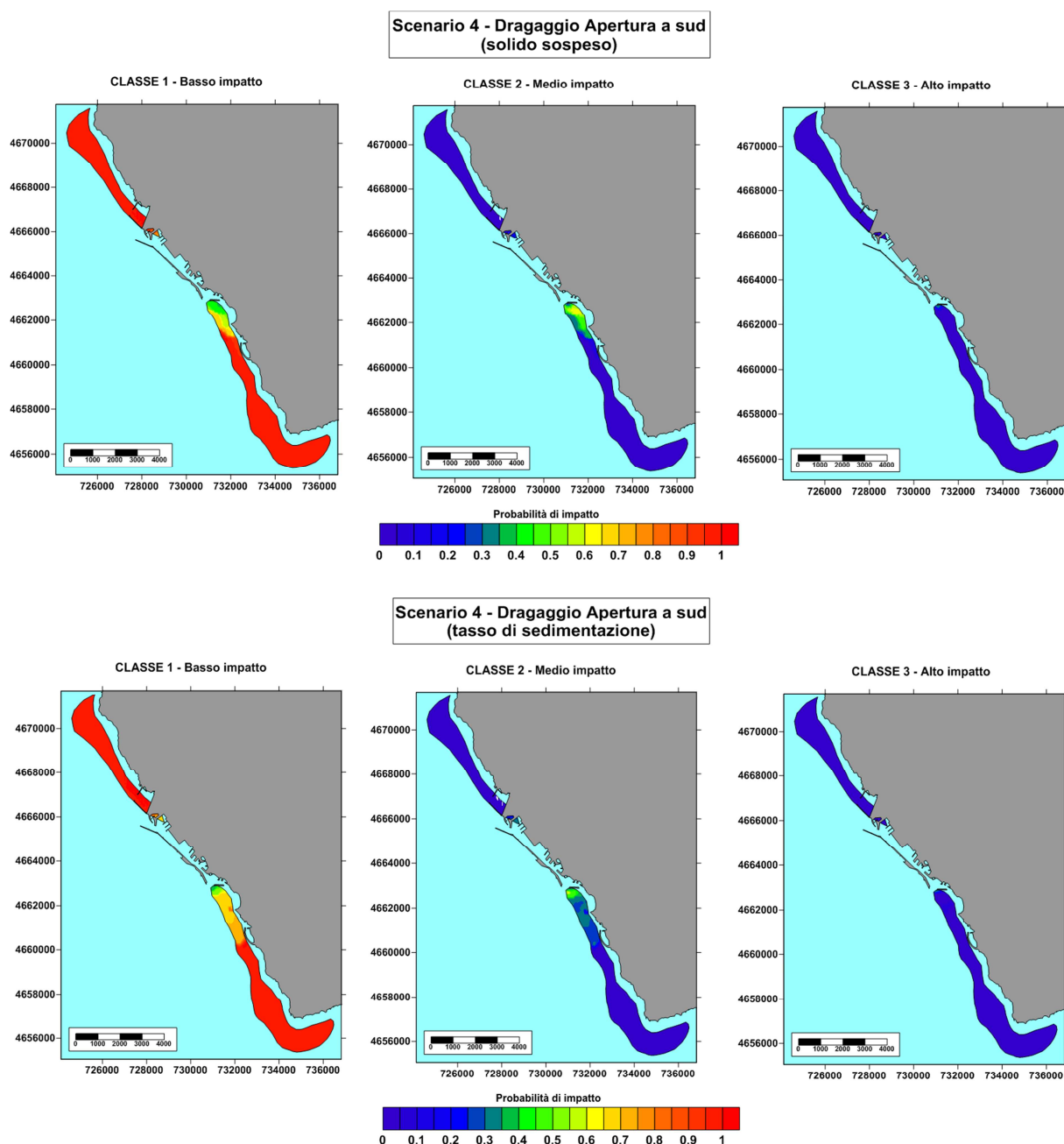


Fig. 6.68 : Mappe dell'indice D3I per bassa, media e alta probabilità d'impatto dovuti alle operazioni di dragaggio per le opere del 2LF (Apertura a sud). In alto gli impatti generati dal sedimento in sospensione, in basso quelli dovuti al tasso di sedimentazione.

1.5.7. Discussioni e conclusioni

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

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

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

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

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

In questo studio l'utilizzo di modelli matematici ha consentito di analizzare il solido sospeso e il tasso di sedimentazione all'interno dell'area di studio ed in particolare in corrispondenza dei SIC IT6000005 e IT6000006. I risultati delle simulazioni relativi alla corrente marina (DELFT3D-FLOW) e al moto ondoso (SWAN) sono stati validati con i dati raccolti in situ attraverso lo strumento ADCP e con quelli acquisiti dalla boa ondometrica Agiotech. Entrambi i modelli dimostrano una elevata performance nel riprodurre l'altezza d'onda significativa ($R^2 = 0.92$) e la velocità della corrente

marina ($R^2 = 0.85$). L'elevata performance dei modelli idrodinamici favorisce anche la corretta riproduzione dei processi di dispersione, sedimentazione e risospensione del sedimento fine. I risultati ottenuti dal modello DELFT3D-WAQ risultano infatti confrontabili con i valori di solido sospeso analizzati da campioni raccolti lungo la colonna d'acqua e con i dati relativi al tasso di sedimentazione stimati attraverso il materiale raccolto nelle trappole per sedimento.

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

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

sedimento fine che fuoriesce dalla foce del Marangone. In entrambi in casi comunque la probabilità che si verifichi un alto impatto è minore del 5 %.

1.5.8. Riferimenti bibliografici

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

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

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

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

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

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

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

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

Blomqvist, S., Hakanson, L., 1981. A review on sediment traps in aquatic environments. *Arch. Hydrobiol.* 91 (1), 101–132.

Booij, N., Ris, R.C., Holthuijsen, L.H., 1999. A third-generation wave model for coastal regions, Part I: Model description and validation. *J. Geophys. Res.* 104, 7649-7666.

Brondi A., Grauso S., Zarlenga F., 1988 – Le omogeneità geologico-territoriali del paesaggio italiano quale strumento di conoscenza ambientale.- Rapporto interno ENEA.

Brondi A., Di Maio A., Manfredi Frattarelli F., 2002 – Influenza dell'ambiente fisico continentale sulla contaminabilità dell'ambiente sedimentario marino. - Indagine sulla contaminazione di metalli pesanti e idrocarburi nei sedimenti superficiali dei mari italiani. CONISMA.

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

- Carboni M.G., Matteucci R., Tortora P. 1980. La piattaforma costiera dell'alto Lazio: dalla foce del fiume Marta a Torre Sant'Agostino. Atti Soc. Tosc. Sci. Nat. Mem. Serie A, 87: 193-230
- Centoducati G., Tarsitano E., Bottalico A., Marvulli M., Lai O.R., Crescenzo G. 2007. Monitoring of the Endangered *Pinna nobilis* Linné, 1758 in the Mar Grande of Taranto (Ionian Sea, Italy). Environmental Monitoring and Assessment, 131: 339-347.
- Cocito S., Ferdeghini F. 2001. Carbonate standing stock and carbonate production of the bryozoan *Pentapora fascialis* in the north-western Mediterranean. Facies, 45: 25-30.
- Chiocci F.L., La Monica G.B. 1996. Analisi sismostratigrafica della piattaforma continentale. In: Il Mare del Lazio – Elementi di oceanografia fisica e chimica, biologia e geologia marina, clima meteomarinario, dinamica dei sedimenti ed apporti continentale. Regione Lazio. Tip. Borgia. Roma: 40-61.
- Dalla Via, J., Sturmbauer, C., Schonweger, G., Sotz, E., Mathekwitsch, S., Stifter, M., Rieger, R., 1998. Light gradients and meadow structure in *Posidonia oceanica*: ecomorphological and functional correlates. Marine Ecology Progress Series 163, 267–278.
- Drew, E.A., 1978. Factors affecting photosynthesis and its seasonal variation in the seagrasses *Cymodocea nodosa* (Ucria) Aschers, and *Posidonia oceanica* (L.) Delile in the Mediterranean. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 31, 173–194
- Duarte, C.M., 1991. Seagrass depth limits. Aquatic Botany 40, 363–377.
- Frezza V., Mateu-Vicens G., Gaglione G., Baldassarre A., Brandano M. 2011. Mixed carbonate-siliclastic sediments and benthic foraminiferal assemblages from *Posidonia oceanica* seagrass meadows of the central Tyrrhenian continental shelf (Lazio, Italy). Ital.J.Geosci. Boll.Soc.Geo.It. Vol.130, No.3, 352-369.
- Gacia, E., Granata, T.C. , Duarte, C.M., 1999. An approach to measurement of particle flux and sediment retention within seagrass (*Posidonia oceanica*) meadows. Aquatic Botany 65, 255–268.
- Gervais, M., Balouin, Y, Belon, R., 2012. Morphological response and coastal and coastal dynamics associated with major storm events along Gulf of Lions Coastline, France. Geomorphology 143-144 69-80.
- Giraud G. 1977. Contribution à la description et à la phénologie quantitative des herbiers à *Posidonia oceanica* (L.) Delile. Thèse Doctorat 3e cycle, Université Aix-Marseille II, 1-150.
- Gordon, D.M., Grey, K.A., Chase, S.C., Simpson, C.J., 1994. Changes to the structure and productivity of a *Posidonia sinuosa* meadow during and after imposed shading. Aquatic Botany 47, 265–275.
- Hardgrave, B.T., Burns, N.M., 1979. Assessment of sediment trap collection efficiency. Limnol. Oceanogr. 24, 1124–1136.

- Hayes D., Wu P.Y., 2001. Simple approach to TSS source strength estimates. In Proceedings of the WEDA XXI Conference, Houston, TX, pp. 25-27.
- Holthuisen, L.H., Booij, N., Ris, R.C., 1989. A prediction model for stationary, short crested waves in shallow water with ambient current. *Coastal Engineering* 13, 23-54.
- Holthuisen, L.H., Booij, N., Ris, R.C., 1993. A spectral wave model for the coastal zone. *Proceeding of the 2nd International Symposium on the Ocean Wave Measurement and Analysis*, New Orleans, pp. 630-641.
- Irving, A. D. & Connell, S. D. 2002. Sedimentation and light penetration interact to maintain heterogeneity of subtidal habitats: algal versus invertebrate dominated assemblages. *Marine Ecology Progress Series*, 245, 83-91.
- Krone, R., 1962. Flume studies of transport of sediment in estuarial shoaling processes (Final report). Tech. rep., University of California, Hydraulics Engineering and Sanitary Engineering Laboratory, Berkeley, USA. 148, 151, 152, 271
- La Monica G. B., Raffi R., 1996. Morfologia e sedimentologia della spiaggia e della piattaforma continentale interna. In: *Il Mare del Lazio*. Università degli Studi di Roma "La Sapienza", Regione Lazio Assessorato Opere e Reti di Servizi e Mobilità: 62-105
- Laboral J. 1987. Marine biogenic construction in the Mediterranean. *Sci. Rep. Port-Cros.Natl.*, 13: 97-126
- Lesser, G.R., Roelvink, J.A., van Kester, J.A.T.M., Stelling, G.S., 2004. Development and validation of a three dimensional morphological model. *Coastal Eng.* 51, 883-915.
- Lorenzen C.J. (1967). Determination of chlorophyll and phaeopigments spectrophotometric equations. *Limnology Oceanography*, 22(4)709-722.
- Los, F.J., Tatman, S., Minns, A.W., 2004. Flyland—A Future Airport in the North Sea? An Integrated Modelling Approach for Marine Ecology, 6th International Conference on Hydroinformatics -Liong, Phoon & Babovic (eds.) World Scientific 2004, ISBN 981-238-787-0
- Manzanera, M., Perez, M., Romero, J., 1995. Seagrass mortality due to oversedimentation: an experimental approach. In: *Proceedings of the Second International Conference on the Mediterranean Coastal Environment, MEDCOAST 95*, October 24–27 1995, Taragona, Spain
- Manzanera, M., Pérez, M., Romero, J., 1998. Seagrass mortality due to oversedimentation: an experimental approach. *Journal of Coastal Conservation* 4, 67–70.
- Mendoza, E.T., and Jimenez, J.A., 2006. Storm-Induced Beach Erosion Potential on the Catalanian Coast. *Journal of Coastal Research*, 48, 81-88.

- Noli A., De Girololamo P., Sammarco P., 1996. Parametri meteomarinari e dinamica costiera. In: Il Mare del Lazio. Università degli Studi di Roma "La Sapienza", Regione Lazio Assessorato Opere e Reti di Servizi e Mobilità , pp 285-315.
- Rodi, W., 1993. Turbulence models and their application in hydraulics. A state of the art review. CRC Press.
- Partheniades, E., 1962. A study of erosion and deposition of cohesive soils in salt water. Ph.D. thesis, University of California, Berkeley, USA. 182 p. 148, 152, 271
- Richardson, C.A., Kennedy, H.A., Duarte, C.M., Proud, S.V.P., 1999. Age and growth of the fan mussel *Pinna nobilis* from S.E. Spanish Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* meadows. Mar. Biol. 133, 205 – 212.
- Ruiz, J.M., Romero, J., 2003. Effects of disturbances caused by coastal constructions on spatial structure, growth dynamics and photosynthesis of the seagrass *Posidonia oceanica*. Marine Pollution Bulletin 46, 153–1523.
- Tortora P. 1989 (a). I fondali antistanti la costa di Montalto di Castro (alto Lazio): caratteristiche ed evoluzione tardo-quadernaria. Il Quadernario, 2,2: 175-187.
- Tortora P. 1989 (b). La sedimentazione olocenica nella piattaforma continentale interna tra il Promontorio di Monte Argentario e la Foce del Fiume Mignone (Tirreno centrale). Giornale di Geologia, ser. 3, vol. 51/1: 93 117.
- Van Gils, J.A.G., Ouboter M.R.L., De Rooij M.N., 1993. Modelling of water and sediment quality in the Scheldt Estuary. Netherland J. Aquat. Ecol. 27(2-4), 257-265.
- Zavodnik D, Hrs-Brenko M, Legac M 1991. Synopsis on the fan shell *Pinna nobilis* L. in the eastern Adriatic Sea. In: Boudouresque CF, Avon M, Gravez V (eds) Les Espèces Marines à Protéger en Méditerranée. GIS Posidonie, Marseille, p 169–178

1.9. Conclusioni relative alla fase di Screening

L'indagine relativa alla compatibilità e all'incidenza del progetto sulle specie e sugli habitat dei SIC in oggetto è stata condotta attraverso:

- **caratterizzazione ambientale**, effettuata mediante ricerca e consultazione della letteratura riguardante l'ambiente interessato dalla realizzazione del progetto, con particolare riferimento agli habitat e alle specie prioritarie (Direttiva Habitat 92/43 CEE);
- **consultazione delle schede Natura 2000** relative ai SIC IT6000005 e IT6000006; Il SIC IT6000005 si estende da Punta Sant'Agostino sino a Punta Mattonara con una superficie di 435 ha e lunghezza complessiva di 5 km circa; il SIC IT6000006, situato più a Sud, comprende i fondali tra Punta del Pecoraro e Capo Linaro con una superficie di circa 746 ha e lunghezza complessiva di 5 km. Per entrambi i siti di interesse comunitario viene segnalata la presenza di praterie di *Posidonia Oceanica* (codice Habitat 1120*), Coralligeno (codice Habitat 1170) e la presenza delle specie prioritarie *Corallium rubrum* (codice 1001) e *Pinna Nobilis* (codice 1028).
- **sopralluoghi e rilievi sui siti di intervento e sulle zone circostanti** per verificare gli habitat, le tipologie ambientali presenti e gli elementi di criticità interni ed esterni ai SIC;
- **campionamenti e rilievi** relativi alla qualità biologica delle principali matrici ambientali con particolare riguardo agli Habitat prioritario *Posidonia Oceanica*, al coralligeno e le specie prioritarie *Corallium rubrum* (codice 1001) e *Pinna Nobilis* (codice 1028).
- **elaborazione di documentazione tecnica, cartografica e fotografica;**

Obiettivo della fase di screening è quello di verificare la possibilità che dalla realizzazione di un piano/progetto, non direttamente connesso o necessario alla gestione di un sito Natura 2000, derivino effetti significativi sugli obiettivi di conservazione del sito stesso.

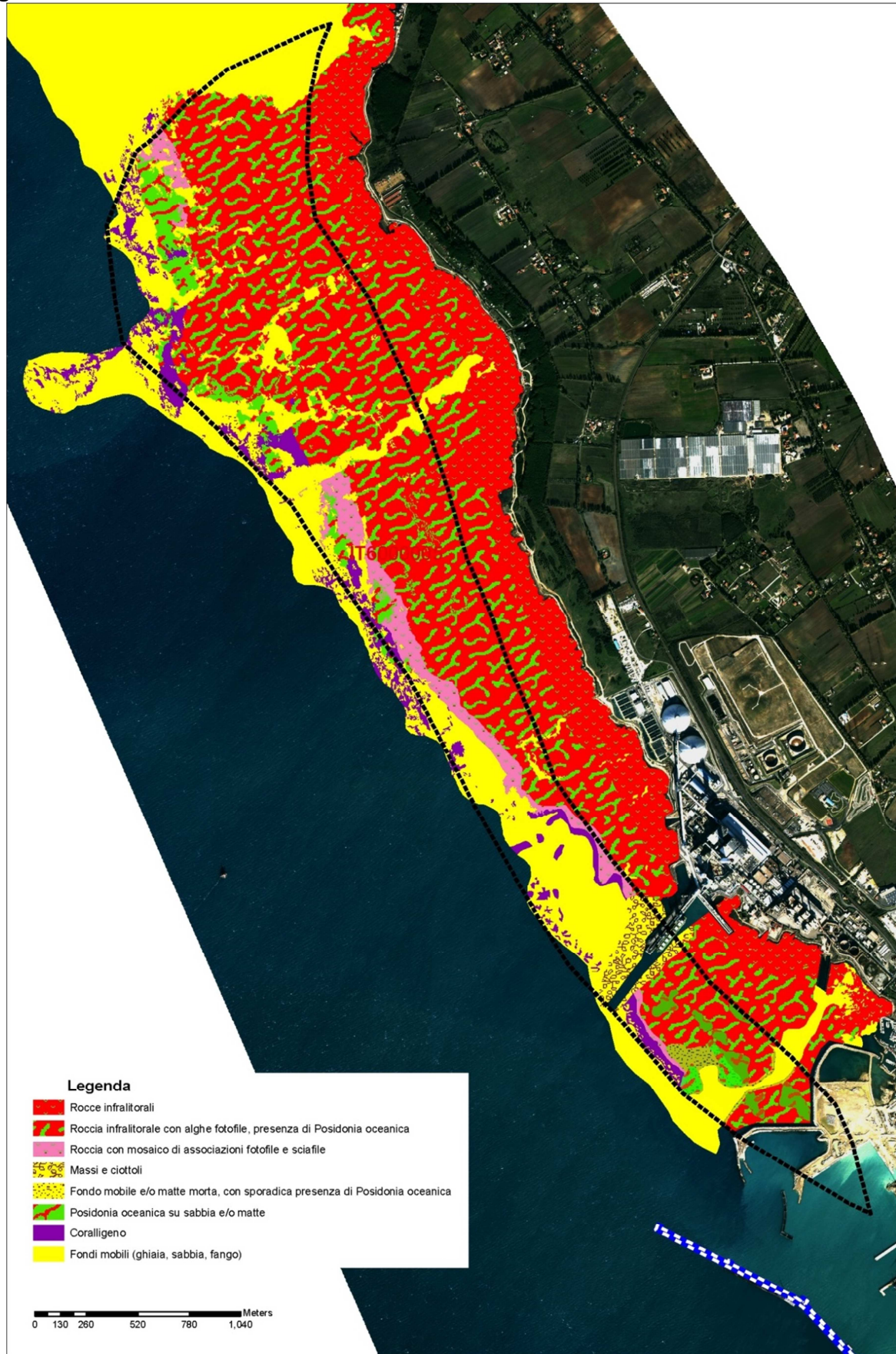
Nei capitoli precedenti sono state descritte le caratteristiche del sito con particolare riferimento agli habitat e alle specie di particolare rilevanza ai fini conservazionistici. Inoltre sono state descritte le caratteristiche del progetto in modo da individuare le implicazioni dello stesso sui due SIC interessati, singolarmente e congiuntamente ad altri progetti simili in modo da poter valutare il possibile grado di significatività di tali incidenze.

I dettagli dell'incidenza del progetto e delle misure di mitigazione individuati sono valutate nella successiva FASE 2 di valutazione appropriata.

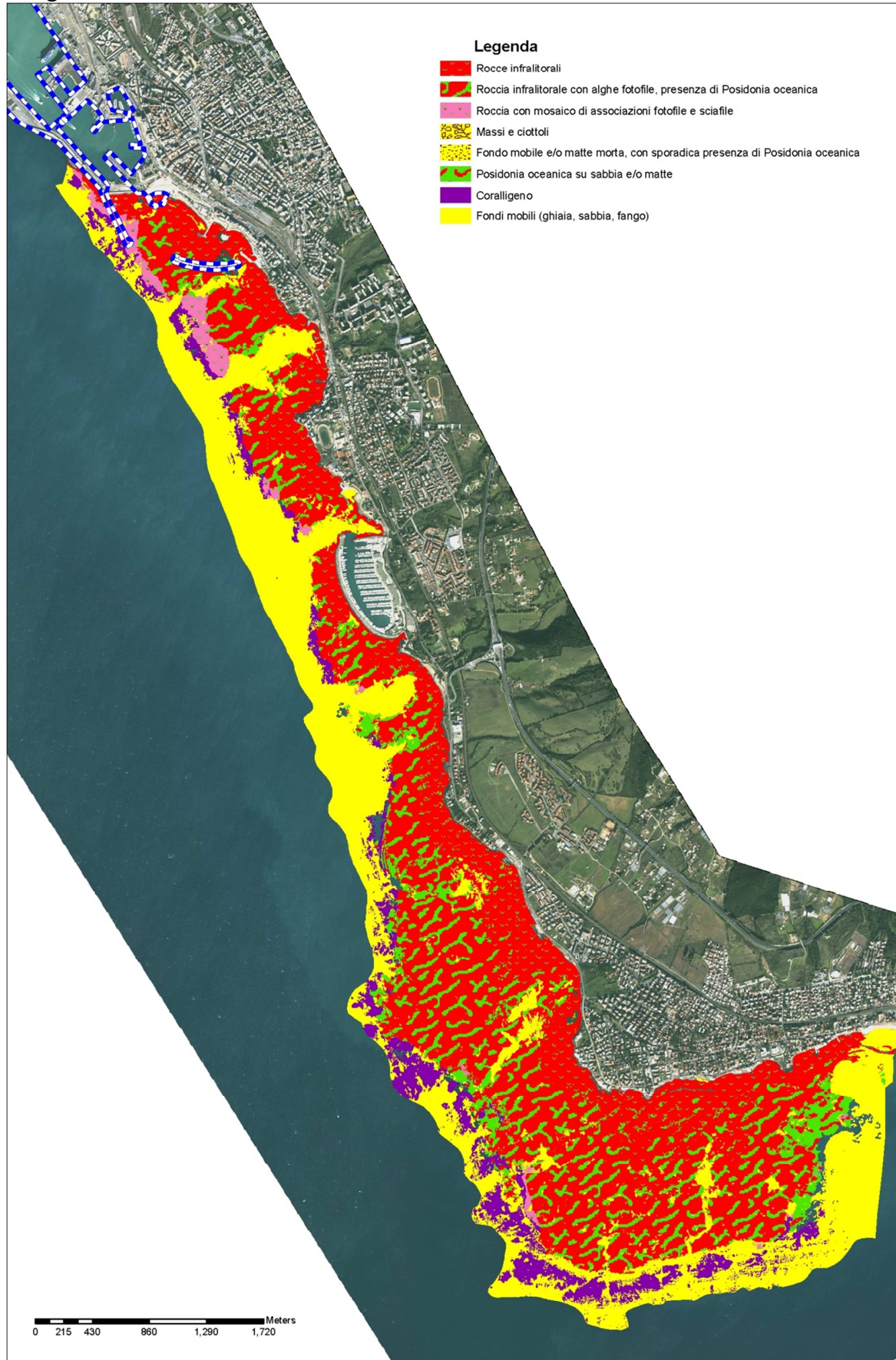
Nella tabella successiva si elencano le perturbazioni individuate.

Tipologia di intervento	Realizzazione opere portuali (Porto di Civitavecchia)
Tipologie ambientali e habitat interessati dal progetto	Ecosistema marino; Habitat prioritario 1120* (praterie di Posidonia (<i>Posidonium oceanicae</i>); Habitat scogliere 1170 (Coralligeno); specie <i>Corallium rubrum</i> (Allegato V, codice 1001) e <i>Pinna Nobilis</i> (Allegato IV, codice 1028)
Occupazione SIC	I Lotto Opere Strategiche: Gli interventi relativi alla costruzione della Darsena Traghetti, Darsena Servizi e Prolungamento dell'Antemurale C. Colombo occupano una porzione del SIC IT6000005 pari a circa 17.0 ha. Darsena Energetico Grandi Masse (D.E.G.M.): l'opera complessivamente prevede l'occupazione di una porzione del SIC IT6000005 pari a circa 57.0 ha. Nuovo accesso al Bacino storico: apertura a sud: l'intervento non prevede occupazione di porzioni di SIC.
Perdita di aree di habitat	Il progetto determina perdita di Habitat presso il SIC IT6000005 per una superficie stimata in circa 74 ha su un totale di 435 ha.
Frammentazione	Il progetto determina la riduzione dell'estensione del SIC IT6000005 per occupazione della sua porzione meridionale, la rimanente parte del SIC non subisce frammentazione nè a breve termine (durante la fase di cantiere) nè a lungo termine. L'opera prevista rimane al margine del SIC IT6000006 che pertanto non subisce frammentazione nè a breve termine (durante la fase di cantiere) nè a lungo termine.
Perturbazione	Si prevede perturbazione nelle zone limitrofe alle aree di intervento in entrambi i SIC: Gli impatti potenziali prodotti dalla sedimentazione e dalla concentrazione di materiale solido in sospensione sulle specie e habitat presenti nei SIC analizzati, sono stati valutati attraverso la messa a punto di un nuovo indice sintetico, denominato D3I (Dredging Indirect Impacts Index). Tale indice si basa sui risultati del modello DELFT3D-WAQ che simula la dispersione, la sedimentazione e la risospensione del sedimento proveniente da fonti naturali (corsi d'acqua presenti nella zona di studio) ed antropiche (attività di dragaggio per la costruzione delle nuove opere previste dal PRP del 2004). Dalle simulazioni matematiche effettuate risulta che tra le due aree protette quella che subisce i maggiori impatti dovuti alle attività di dragaggio è il SIC IT6000005. All'interno di questa area si registrano infatti moderate probabilità (comprese tra il 30 e il 50 %) di ricadere nella CLASSE 3 ("Alto impatto") che possono essere imputate all'azione dei corsi d'acqua che causano effetti nella parte settentrionale e alle attività di dragaggio (1LF e DEGM) che influenzano la zona meridionale. Il SIC IT6000006, localizzato a sud del porto di Civitavecchia, riceve l'impatto maggiore dal materiale dragato per la realizzazione del 2° Lotto Funzionale (Apertura a sud) comunque la probabilità che si verifichi un alto impatto risulta minore del 5 %. I valori di solido sospeso e del tasso di sedimentazione che delimitano le tre classi di impatto (CLASSE 1 : "Basso impatto", CLASSE 2 : "Medio impatto", CLASSE 3 : "Alto impatto") sono stati scelti in maniera arbitraria, senza tener conto delle soglie critiche per la sopravvivenza della <i>Posidonia oceanica</i>, delle biocostruzioni coralligene, della <i>Pinna nobilis</i> e di <i>Corallium rubrum</i>.
Cambiamenti negli elementi ambientali	Oltre alle ovvie ripercussioni legate alla occupazione di porzioni di habitat ed alla perdita di organismi, tra i quali in particolare si segnala quella degli individui di <i>Pinna nobilis</i> censiti durante le indagini di campo nell'area di impronta delle opere sul SIC IT6000005, soprattutto per quanto riguarda i due habitat di rilevanza conservazionistica (1120 e 1170) sono noti e ampiamente documentati da pubblicazioni scientifiche di portata nazionale ed internazionale gli effetti negativi delle perturbazioni indagate (sedimentazione e concentrazione di materiale solido in sospensione) su tali matrici ambientali in termini di riduzione di qualità ecologica e regressione della superficie occupata (nel caso di <i>Posidonia</i>). Elevati tassi di sedimentazione, inoltre favoriscono l'insediamento di alcune specie aliene a carattere invasivo.
Elementi di criticità	La realizzazione del progetto soprattutto a Nord dell'area portuale si inserisce in un contesto dove agiscono altri insediamenti industriali che potrebbero incrementare la sofferenza dell'ambiente marino. Le misure di mitigazione previste tendono a ridurre gli impatti diretti, indiretti e cumulativi legati alla realizzazione dell'opera. Monitoraggi in corso d'opera e post-operam si rendono necessari al fine di rilevare precocemente eventuali stati di sofferenza del sistema.

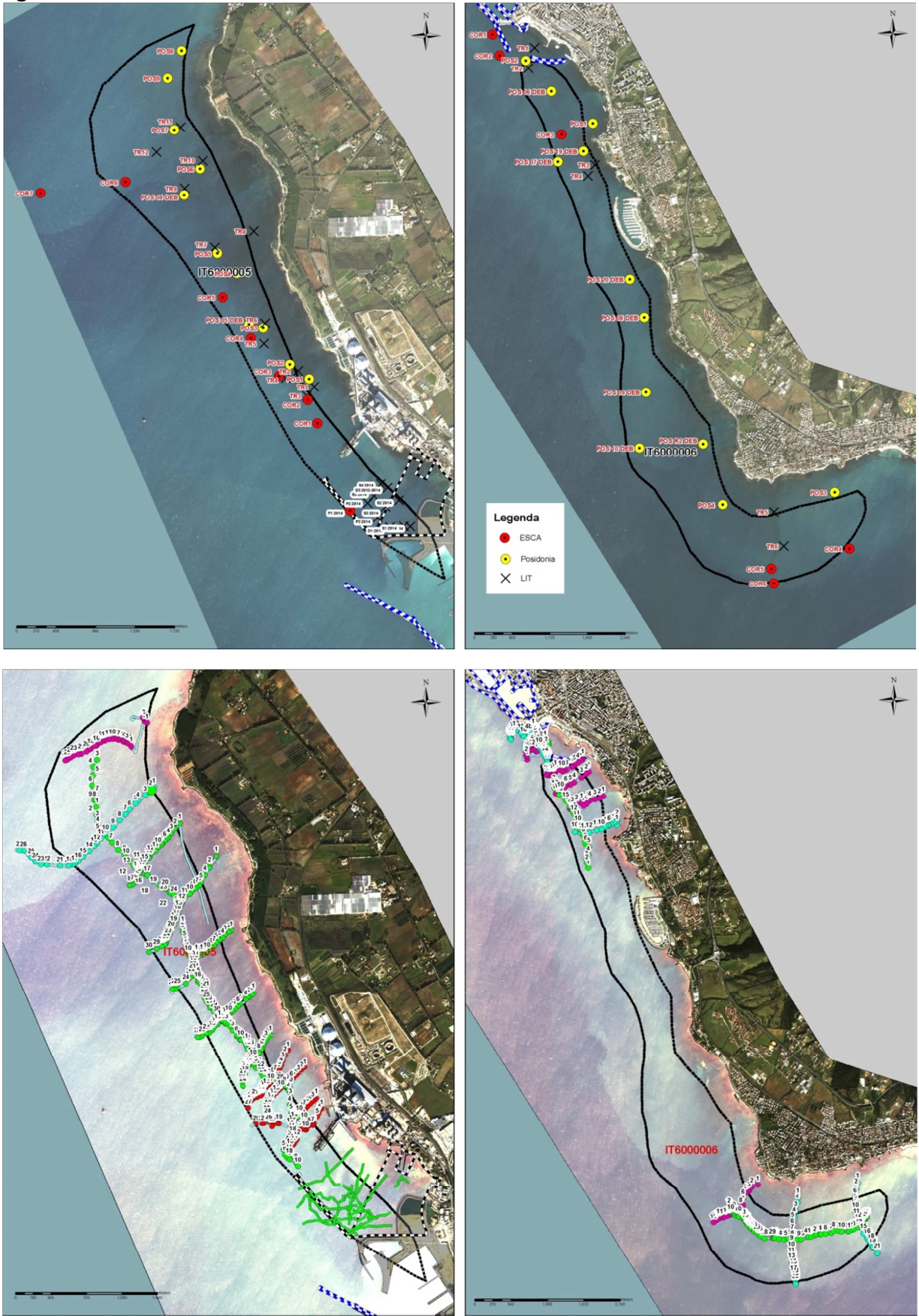
Allegato 1 - Carta Bionomica SIC IT6000005



Allegato 2 - Carta Bionomica SIC IT6000006



Allegato 3 – Carte di lavoro: Transetti ROV e Stazioni



CARATTERIZZAZIONE AMBIENTALE

2. RISULTATI: AREA P.TA MATTONARA

Nel gennaio 2012, nell'ambito del servizio di espianto delle talee di *Posidonia oceanica* dai fondali tra Punta S. Agostino e Punta della Mattonara nel Porto di Civitavecchia e reimpianto nei fondali tra Punta del Pecoraro e Capo Linaro, è stata svolta l'attività di caratterizzazione dei fondali che ha portato alla realizzazione di una mappatura biocenotica nella quale sono stati definiti i confini della distribuzione di *Posidonia oceanica* al fine di localizzare le aree più idonee all'espianto.

Successivamente è emersa la necessità di un approfondimento di indagine che costituisce parte dello studio per la valutazione di incidenza sul SIC marino 6000005 (P.TA S. AGOSTINO – P.TA MATTONARA).

3. MATERIALI E METODI DI INDAGINE

3.1. Caratterizzazione bionomica dell'area di P.ta Mattonara ed elaborazione di una cartografia degli Habitat presenti

Per biocenosi si intende l'insieme di popolazioni di specie differenti che condividono lo stesso habitat naturale sviluppando tra loro rapporti di interdipendenza.

La realizzazione della mappa degli habitat, fornendo informazioni sulla distribuzione e complessità di habitat e biocenosi presenti in una data area, rappresenta il primo passo essenziale per valutare le condizioni ambientali e programmare eventuali interventi di tutela e di gestione delle risorse. L'utilizzo di questo tipo di cartografia come indicatore biofisico permette di valutare se le fonti di disturbo che influiscono sugli elementi naturali presenti determinano cambiamenti sulla loro conservazione ed inoltre, permette l'evidenziazione di importanti emergenze naturalistiche.

Le metodiche di rilevamento finalizzato alla cartografia degli ambienti marini prevedono l'utilizzo integrato di diverse tecniche (Colantoni, 1995; Piazzì *et al.* 2000) che da sole non sarebbero sufficienti a garantire una precisione adeguata alla scala e alla finalità del lavoro. I diversi metodi hanno, infatti, un diverso significato secondo l'ambiente da esplorare e della scala di restituzione finale. Se la fascia più costiera fino ad una decina di metri di profondità può essere ad esempio ben descritta utilizzando la tecnica aerofotogrammetria o il telerilevamento da satellite, profondità maggiori devono essere esplorate con sonar a scansione laterale.

Inoltre, per aree in cui si richiede un maggior dettaglio, è necessario utilizzare telecamere subacquee, trainate o a controllo remoto (ROV, Remotely Operated Vehicle) e/o operatori scientifici subacquei (OSS).

La caratterizzazione bionomica dell'area di P.ta Mattonara (Foto 2.1.1) è stata condotta tramite prospezioni visuali (metodi diretti), le informazioni sulla profondità sono state acquisite con

l'utilizzo di ecoscandagli e tutti i dati ottenuti sono stati posizionati nello spazio mediante GPS cartografici.

Nel caso specifico è stato eseguito un rilevamento visivo lungo rotte (transetti) prestabilite, mediante l'uso di un Remote Operated Vehicle (R.O.V.). Sono state acquisite in continuo le seguenti informazioni: coordinate geografiche, profondità, tipo di substrato e caratteristiche bionomiche generali del fondo. Altre indagini dirette sono state eseguite in immersione da parte di Operatori Scientifici Subacquei affiancati, dove richiesto, da Operatori Tecnici Subacquei.

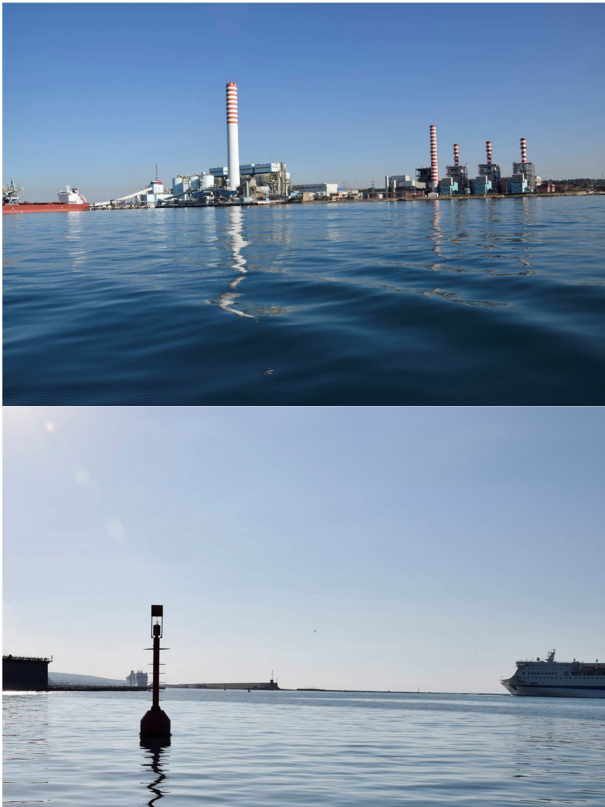


Foto 2.1.1. Alcune immagini dell'area di studio.

Tutte le informazioni sono state infine sovrapposte a dati pregressi risultanti da rilevamenti eseguiti dagli scriventi nel 2012 mediante Side Scan Sonar e telerilevamento da satellite (Figg. 2.1.1 e 2.1.2).

Come mappa biocenotica di riferimento è stata utilizzata la “Cartografia degli Habitat costieri del Lazio” prodotta dal Dipartimento Di Biologia Ambientale dell’Università di Roma, La Sapienza su incarico della Regione Lazio.

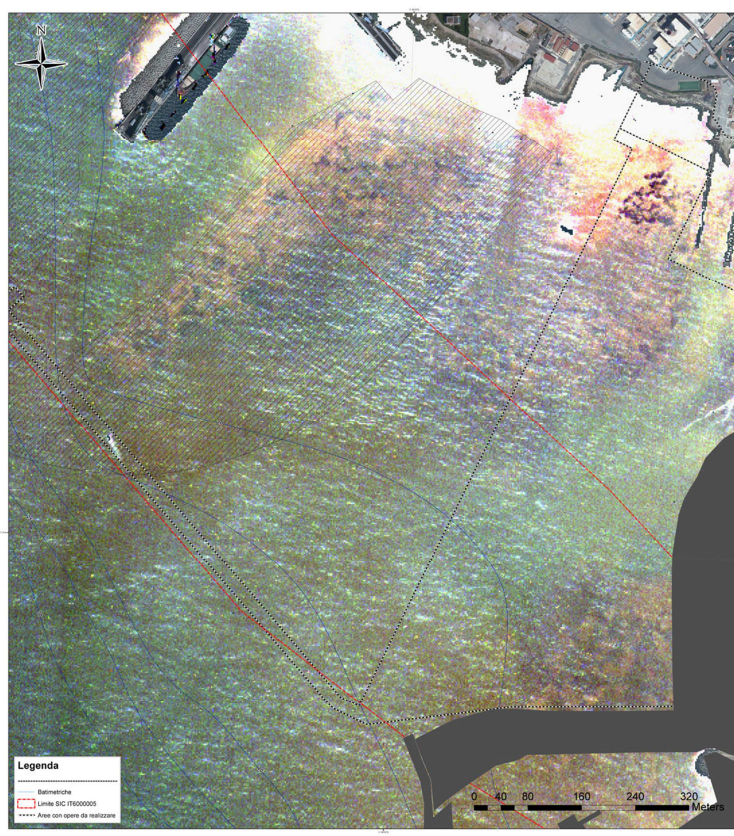


Fig. 2.1.1. Foto satellitare dell'area di P.ta Mattonara

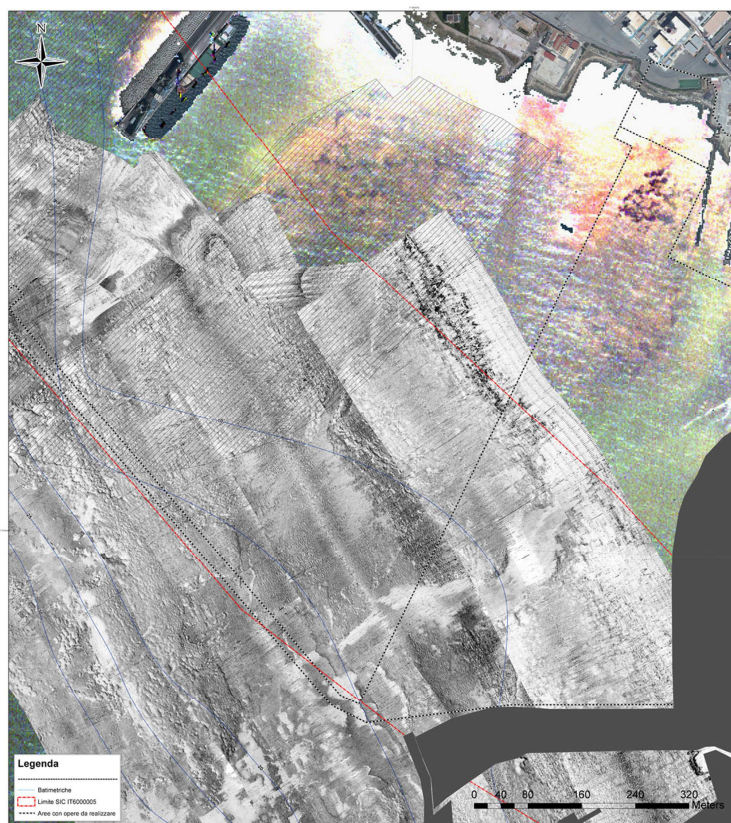


Fig. 2.1.2. Fotomosaico dei sonogrammi ottenuti da Side Scan Sonar relativi all'area di P.ta Mattonara

Indagini ROV

Il Remote Operated Vehicle, R.O.V., è un dispositivo mobile filoguidato normalmente utilizzato per prospezioni video subacquee, è dotato di telecamera, bussola, lampade per illuminazione e profondimetro. Lo strumento utilizzato è stato un ROV Mini RB 300 (Fig. 2.1.3). La telecamera principale del ROV è alloggiata all'interno del POD ed è montata su un supporto che permette un angolo di tilt di 270°. Il dispositivo viene pilotato da un operatore specializzato tramite un pannello di controllo collocato su una barca di appoggio.

Il compito fondamentale di un ROV è quello di consentire all'operatore che si trova in superficie di interagire con l'ambiente marino sottostante ed effettuare i rilievi prefissati.

I rilievi, eseguiti su transetti progettati preliminarmente (Fig. 2.1.4; Tab. 2.1.1), sono stati effettuati dal 16 ottobre 2014 al 19 ottobre 2014 ed il 2 novembre 2014.

Le immagini acquisite sono state analizzate sia durante il rilevamento sia successivamente in laboratorio e sono servite alla descrizione degli habitat presenti ed alla descrizione dei limiti, il risultato dei rilievi ROV è stato ulteriormente implementato dalle osservazioni eseguite in immersione dagli Operatori Scientifici Subacquei (OSS).

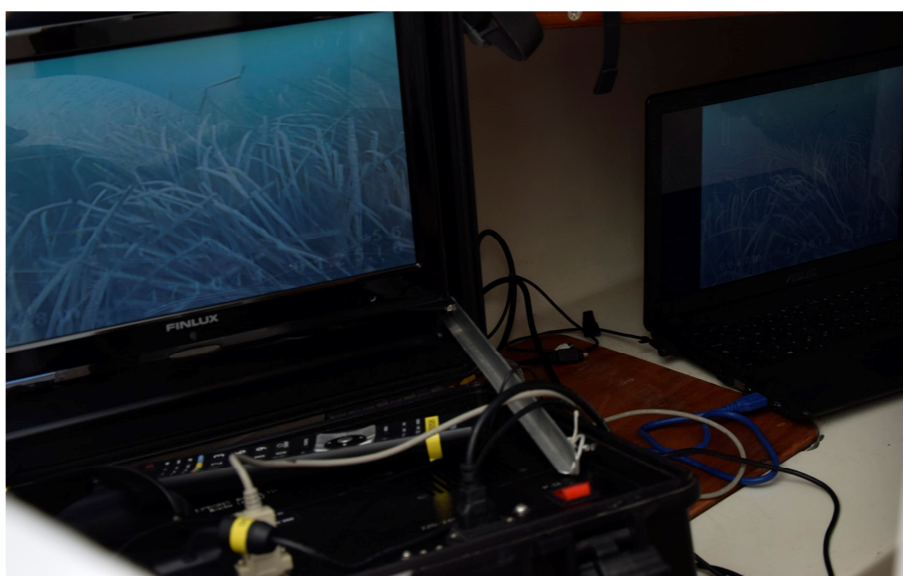


Fig. 2.1.3. Dispositivo ROV utilizzato(sopra) e pannello di controllo (sotto).

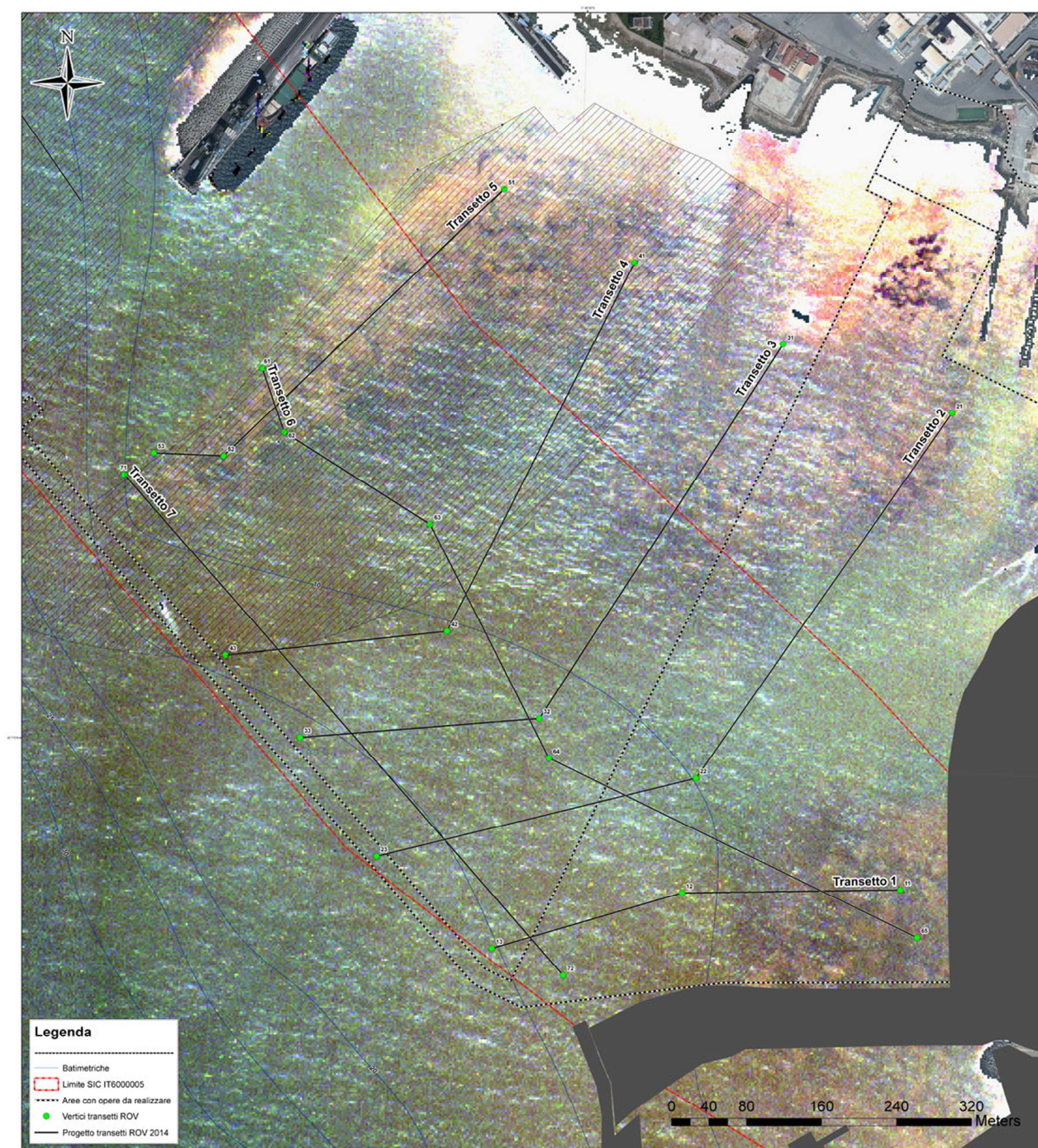


Fig. 2.1.4. Carta dei transetti ROV programmati

Tab. 2.1.1. Coordinate dei vertici dei transetti ROV programmati.

Nome	Vertice n.	Long.	Lat.
Transetto 1	11	11,76284	42,11553
Transetto 1	12	11,76003	42,11542
Transetto 1	13	11,75762	42,11482
Transetto 2	21	11,76327	42,12012
Transetto 2	22	11,76016	42,11652
Transetto 2	23	11,75609	42,11566
Transetto 3	31	11,76107	42,12072
Transetto 3	32	11,75811	42,11704
Transetto 3	33	11,75505	42,11677
Transetto 4	41	11,75912	42,12145
Transetto 4	42	11,75688	42,11784
Transetto 4	43	11,75405	42,11753
Transetto 5	51	11,75740	42,12210
Transetto 5	52	11,75392	42,11944
Transetto 5	53	11,75303	42,11945
Transetto 6	61	11,75438	42,12030
Transetto 6	62	11,75469	42,11969
Transetto 6	63	11,75661	42,11887
Transetto 6	64	11,75826	42,11666
Transetto 6	65	11,76308	42,11508
Transetto 7	71	11,75265	42,11923
Transetto 7	72	11,75855	42,11459

Controllo verità a mare mediante Operatori Scientifici Subacquei

Presso n° 5 stazioni superficiali, posizionate sopra la batimetria dei -15 m, denominate con la sigla "S_n", e n° 2 stazioni profonde, posizionate sotto la batimetria dei -15 m, denominate "P_n", è stata fatta una stima della copertura di *Posidonia oceanica* rispetto al substrato di impianto mediante rilevamenti bionomici lungo transetti (Fig. 2.1.5; Tab. 2.1.2). Sono stati eseguiti 4 transetti tra loro ortogonali, della lunghezza di 30 m ciascuno, per ciascuna stazione.

È stata adottata la tecnica denominata Line Intercept Transect (LIT) (Bianchi et al., 2004) che consiste nel registrare su di una lavagnetta l'intercetta al centimetro di ogni punto in cui cambia la categoria di organismo o di substrato presente sotto la cima, nella fattispecie ogni qualvolta si passava da substrato occupato da *Posidonia* ad altro tipo di substrato e viceversa.

Il ricoprimento percentuale di x (= *Posidonia*) è stato calcolato mediante la formula:

$$Rx\% = Lx/T * 100$$

Dove

Rx% = Ricoprimento percentuale di x

Lx = somma delle lunghezze dei tratti di transetto occupati da x

T = lunghezza totale del transetto

Lungo gli stessi transetti è stato eseguito il censimento degli individui di *Pinna nobilis*. In questo caso la tecnica adottata è quella denominata del Belt Transect (BT)(Bianchi et al., 2004) che consiste nel registrare tutti gli elementi target, nel caso specifico gli individui di *P. nobilis*, all'interno di una striscia di fondo di lunghezza e larghezza predeterminata. L'area indagata presso ciascuna stazione è stata di 240 m²: 30 m x 4 transetti = 120 m di lunghezza X 2 m di larghezza. I risultati ottenuti sono serviti ad implementare quelli provenienti dall'analisi delle immagini ROV.

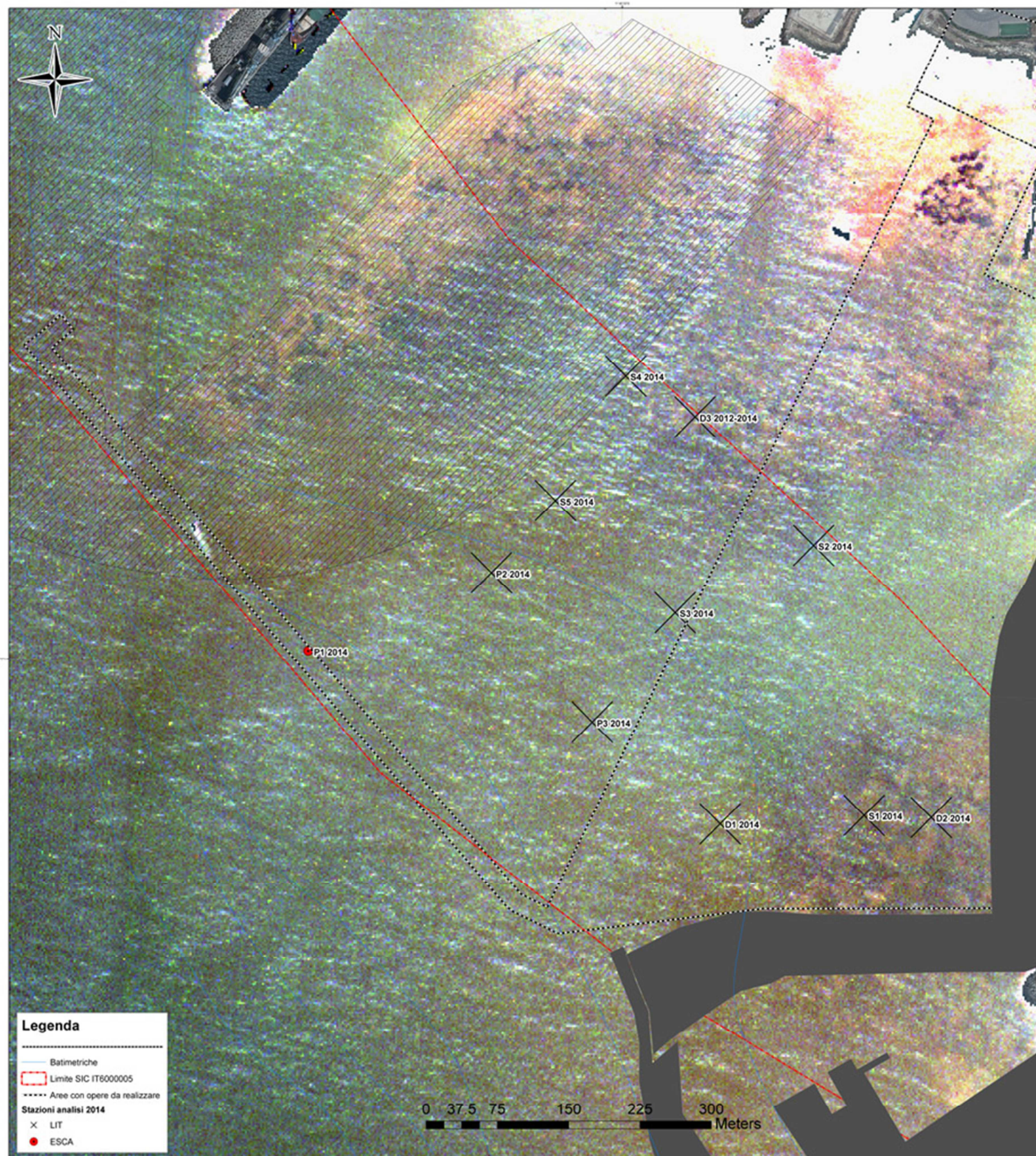


Fig. 2.1.5. Carta delle stazioni di campionamento OSS.

Tab. 2.1.2. Coordinate delle stazioni di campionamento LIT e BT.

Nome	Tipo	Long.	Lat.
S1 2014	LIT - BT	11,76185	42,11550
S2 2014	LIT - BT	11,76108	42,11803
S3 2014	LIT - BT	11,75935	42,11735
S4 2014	LIT - BT	11,75861	42,11957
S5 2014	LIT - BT	11,75778	42,11837
P2 2014	LIT - BT	11,75700	42,11766
P3 2014	LIT - BT	11,75835	42,11629

3.2. Studio stato di qualità di *Posidonia oceanica*

Per tale valutazione, nella prateria di *P. oceanica* individuata all'interno del SIC sono state indagate n° 3 stazioni (D_n) già studiate nel gennaio 2012 nella fase di caratterizzazione delle praterie donatrici relative al servizio di espianto e reimpianto talee di *Posidonia oceanica* effettuato nella stessa area attualmente studiata (Fig. 2.1.5; Tab 2.2.1).

Tab. 2.2.1. Coordinate delle stazioni di campionamento *Posidonia oceanica*.

Name	Tipo	Long.	Lat.
D1 2014	Pos	11,76003	42,11537
D2 2014	Pos PREI	11,76271	42,11550
D3 2012-2014	Pos	11,75951	42,11921

È stato applicato il protocollo di campionamento raccomandato da ISPRA ed adottato nei piani di monitoraggio delle ARPA regionali. Secondo questo protocollo in ciascuna stazione sono state posizionate 3 aree di campionamento (400 m² circa ciascuna, distanziate di almeno 10 m tra loro) in ciascuna delle quali sono state effettuate:

- 3 repliche per le misure di densità,
- 6 repliche per i prelievi di fasci ortotropi (Figura 2.2.2).

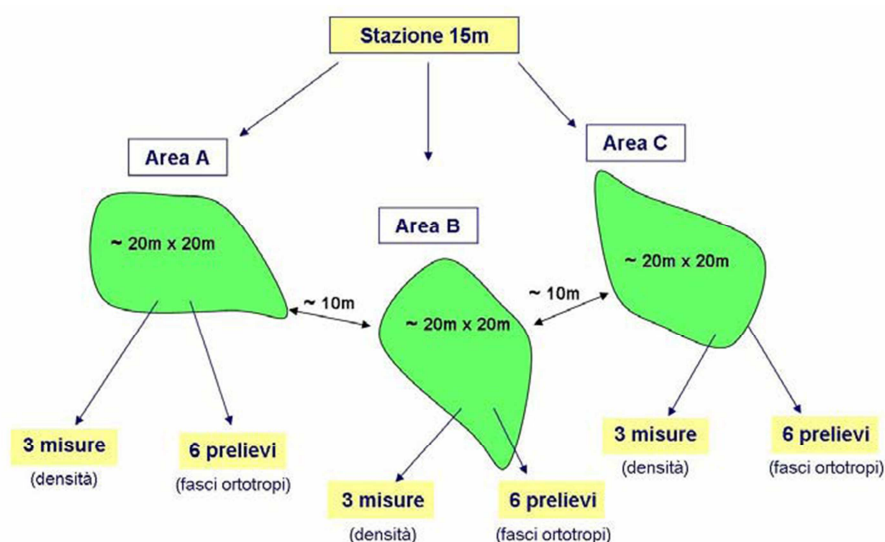


Figura 2.2.2. Strategia di campionamento gerarchica, richiesta per il monitoraggio di *Posidonia oceanica* (Fonte ISPRA).

Per ciascuna delle 3 aree, oltre alle misure ed i prelievi di cui sopra, sono state effettuate delle stime relative a: ricoprimento della *P. oceanica*, tipo di substrato, continuità della prateria, percentuale di matte morta e presenza di macroalghe aliene.

In totale, in ciascuna delle 3 stazioni di campionamento sono dunque state effettuate 9 misure di densità e prelevati 18 fasci ortotropi per le analisi di laboratorio.

La valutazione quali-quantitativa della prateria di *P. oceanica* è articolata nei seguenti punti:

- Studio *in situ* (macro-ripartizione) dei fascicoli fogliari all'interno della prateria (densità);
- Studio biometrico in laboratorio dei fascicoli fogliari (micro-ripartizione).

La stima della densità è stata effettuata in immersione subacquea mediante conta dei fasci fogliari in quadrati di 40 cm di lato. I risultati sono poi stati estrapolati al metro quadro. La stima della densità consentirà di classificare la prateria, in accordo alle metodologie di campionamento del benthos marino mediterraneo riportato sullo specifico Manuale stampato a cura della Società Italiana di Biologia Marina, APAT e ICRAM (Buia et al., 2004).

Sulle strutture fogliari sono state rilevate in laboratorio le seguenti misure:

1. Numero medio delle foglie totali ripartito tra foglie adulte (se provvista di base), foglie intermedie (se di lunghezza maggiore di 50 mm e sprovviste di base), foglie giovanili (se di lunghezza inferiore a 50 mm)
2. Lunghezza media delle foglie (totali, adulte, intermedie e giovanili);
3. Lunghezza della base (presenza di ligula) e del lembo;
4. Larghezza media delle foglie (totali, adulte, intermedie e giovanili);
5. Lunghezza del tessuto bruno;
6. Presenza degli apici erosi (coefficiente "A").
7. Superficie fogliare
8. Leaf Area Index (LAI, Indice di Area Fogliare)

Inoltre, al fine di uniformarsi alle normative vigenti riguardanti la valutazione dello stato dei corpi idrici (MATTM, 2010) è stato elaborato l'indice PREI (*Posidonia Rapid Easy Index*) utilizzando i dati rilevati presso una delle stazioni (D2) scelta in modo casuale tra le 3 disponibili.

3.3. Studio stato di qualità coralligeno

Per la valutazione dello stato di qualità del coralligeno individuato dalle indagini ROV all'interno del SIC, è stata studiata una stazione (P1) posizionata ad una profondità di circa 16/17 metri (Fig. 2.1.5; Tab. 2.3.1). Presso tale stazione sono stati prelevati campioni dei popolamenti presenti su substrato duro mediante la tecnica del grattaggio (Gambi M.C. e Dappiano M., 2004). Sono stati eseguiti n° 4 grattaggi al fine di ottenere una caratterizzazione dei popolamenti presenti nell'area indagata ed una stima della biodiversità esistente.

È stato possibile anche elaborare l'indice ESCA che permette di ottenere un'indicazione dello stato di qualità del coralligeno (Cecchi *et al.*, 2014).

Presso la stazione P1 è stato inoltre completato il censimento della presenza di popolamenti a *Corallium rubrum* implementando le osservazioni effettuate mediante ROV.

Tab. 2.3.1. Coordinate della stazione P1 per il campionamento su coralligeno.

Name	Tipo	Long.	Lat.
P1 2014	Grattaggio + ESCA	11,75471	42,11685

4. RISULTATI E DISCUSSIONE

4.1. Caratterizzazione bionomica dell'area di P.ta della Mattonara ed elaborazione di una cartografia degli Habitat presenti

A seguito delle indagini condotte è stato possibile realizzare una cartografia degli Habitat presenti nel tratto di fondo marino antistante P.ta della Mattonara (Fig. 3.1.1).

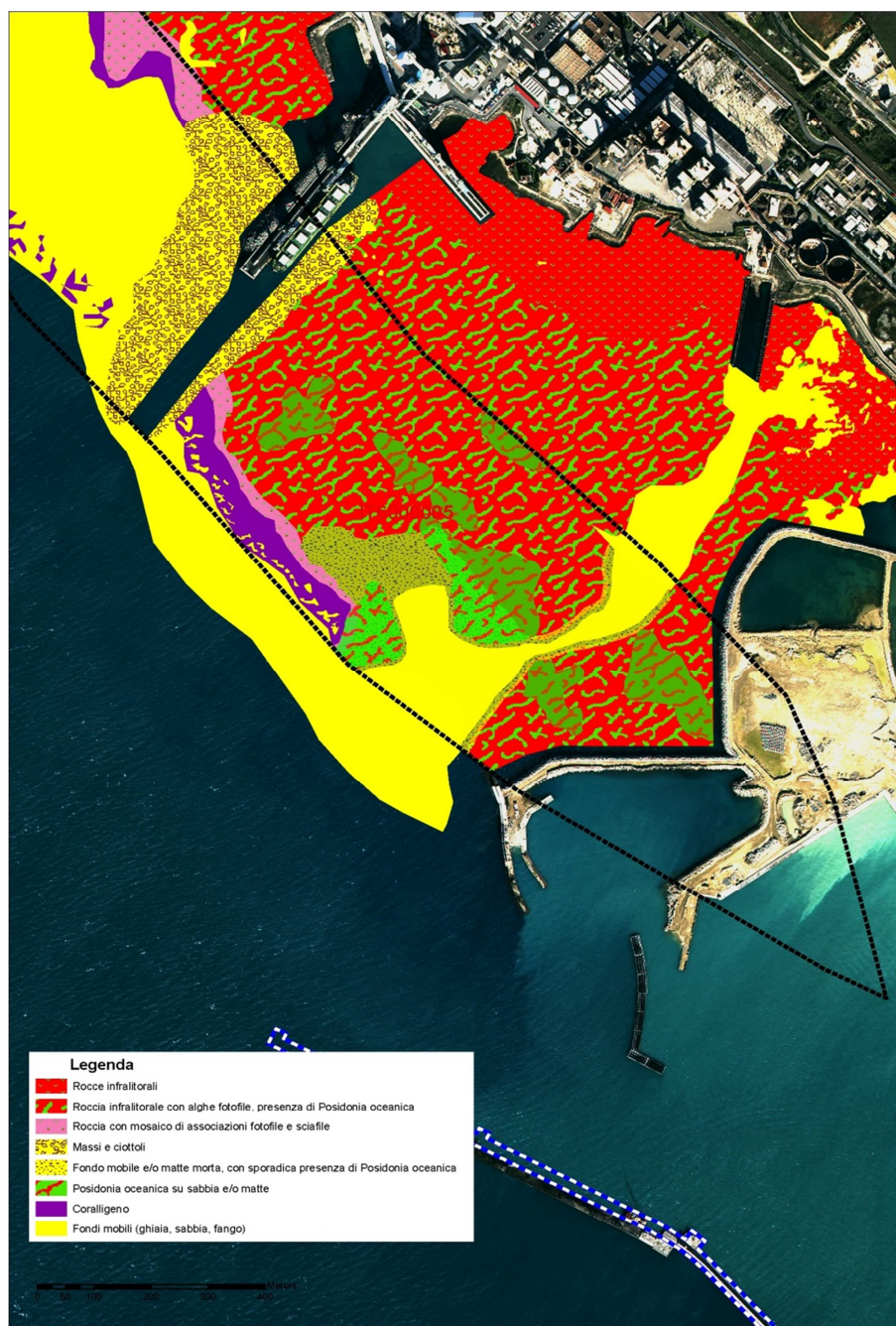


Fig. 3.1.1. Cartografia degli Habitat presenti nel tratto di fondo marino antistante P.ta della Mattonara

Sulla mappa sono stati evidenziati cinque principali habitat:

9. Rocce infralitorali
10. Roccia infralitorale con alghe fotofile, con presenza di *Posidonia oceanica* (copertura $Po < 30\%$)
11. Roccia con mosaico di associazioni fotofile e sciafile
12. Massi e ciottoli
13. Fondo mobile e/o matite morta, con sporadica presenza di *Posidonia oceanica*
14. *Posidonia oceanica* su sabbia e/o matite (copertura $30\% < Po < 80\%$)
15. Coralligeno
16. Fondo mobile (ghiaia, sabbia, fango)

Roccia infralitorale con alghe fotofile

La porzione di fondo occupata da roccia infralitorale si estende dalla linea di costa a pochi metri sotto la superficie del mare, fino ad una profondità di circa -12/-14 metri. Si tratta di una piattaforma rocciosa, con superficie talvolta molto irregolare, caratterizzata da un mosaico di alghe fotofile (Tab. 3.1.1) e macchie di *Posidonia oceanica* insediata su roccia (Foto 3.1.1 e 3.1.2). Con l'aumentare della profondità sotto la batimetrica dei 5-6 m il fondo roccioso si fa sempre più ricco di avvallamenti e buche nelle quali l'accumulo di sedimento, prevalentemente costituito da sabbia grossolana di natura organogena, favorisce spesso la presenza di piccole macchie di *Posidonia* che non sono però in grado di costituire una vera e propria prateria causa dell'estrema eterogeneità del substrato (Foto 3.1.3).

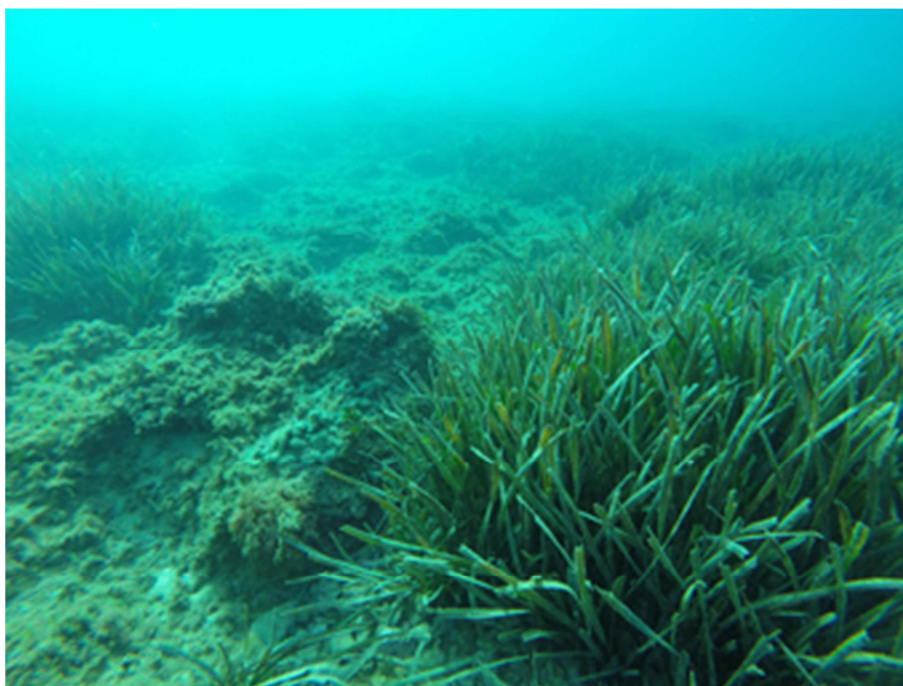


Foto 3.1.1. Esempio di mosaico di alghe fotofile e macchie di *P. oceanica* insediata su roccia.

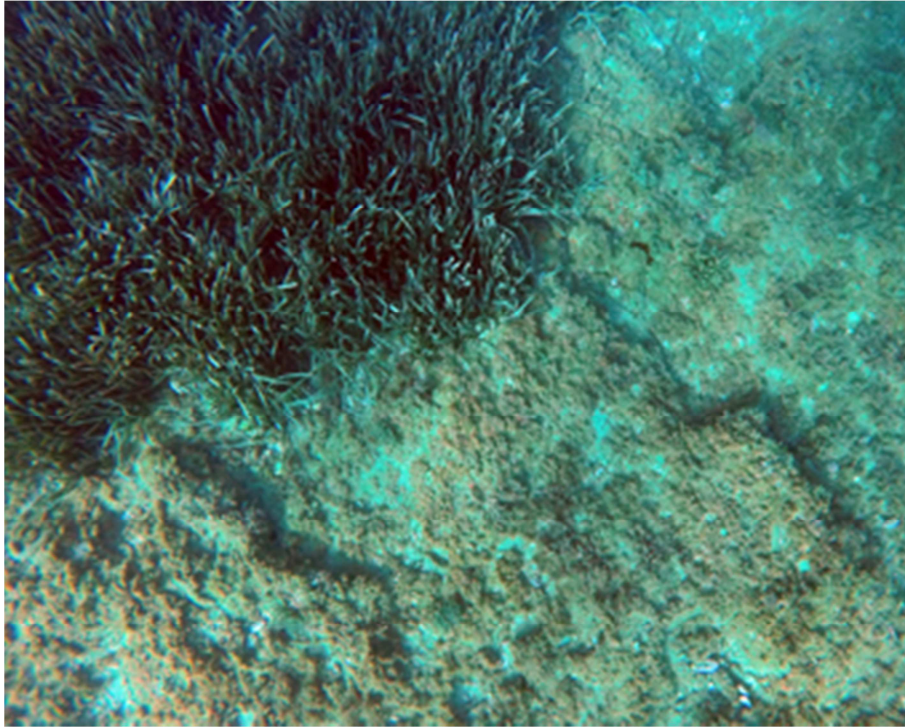


Foto 3.1.2. Esempio di mosaico di alghe fotofile e macchie di *P. oceanica* insediata su roccia. Visuale dall'alto.

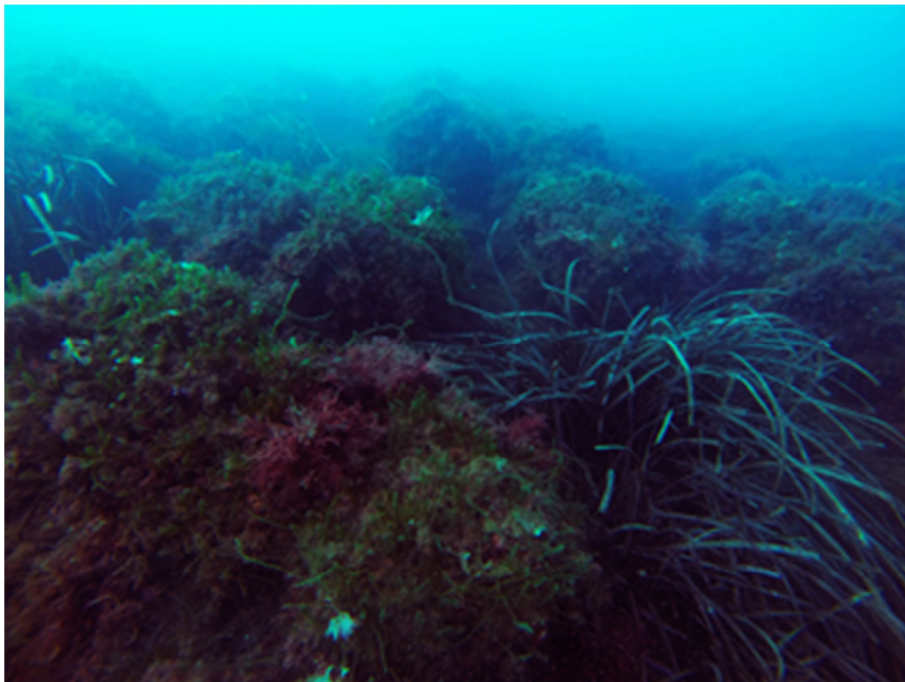


Foto 3.1.3. Esempio di fondo roccioso ricco di avvallamenti e buche nelle quali l'accumulo di sedimento, favorisce la presenza di piccole macchie di *P. oceanica* che non costituisce una vera prateria.

Tra i 10 ed i 14 metri di profondità gli affioramenti rocciosi si sviluppano come strutture quasi colonnari ed alla loro base lasciano sempre più spazio a *Posidonia* (Foto 3.1.4) che, nella porzione centrale della mappa, presenta una ampia area di colonizzazione dove può strutturarsi in vera e propria prateria soprattutto nell'intervallo batimetrico che va dai -12 ai -16 metri di profondità (Foto 3.1.5a,b,c,d,e,f).

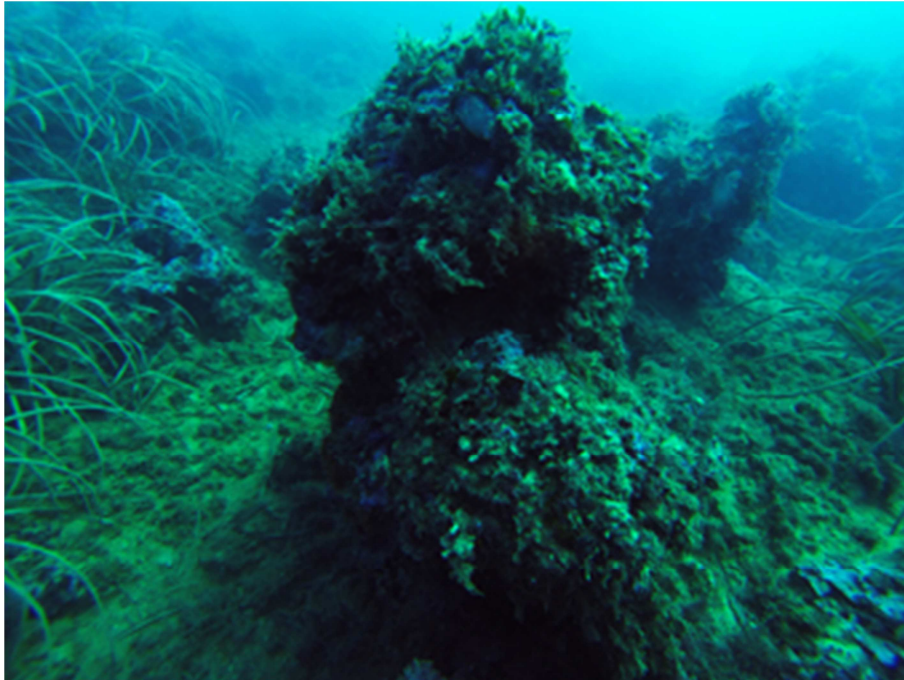


Foto 3.1.4. Esempio di affioramenti rocciosi che si sviluppano come strutture quasi colonnari

La piattaforma rocciosa precedentemente descritta si interrompe, invece, in modo abbastanza brusco in corrispondenza di un canale caratterizzato da fondo mobile che la taglia, con andamento nordest – sudovest. In quest'area, infatti, si osserva un netto gradino alto un paio di metri colonizzato prevalentemente ,nella sua parete verticale ,da elementi sciafili tipici del coralligeno. La stessa conformazione si rileva, superato il canale, al margine di una seconda piattaforma di roccia infralitorale con alghe fotofile che si rinviene nella parte sud e sudest della mappa e sulla quale poggiano le attuali dighe del porto (Foto 3.1.6. a,b,c).



a



b



c



d



e



f

Foto 3.1.5 a,b,c,d,e,f. Sequenza di fermo immagine tratta dalle riprese ROV lungo il transetto n° 6 in un'area ad elevata copertura di *P. oceanica* tra gli 11 m ed i 14 m di profondità.

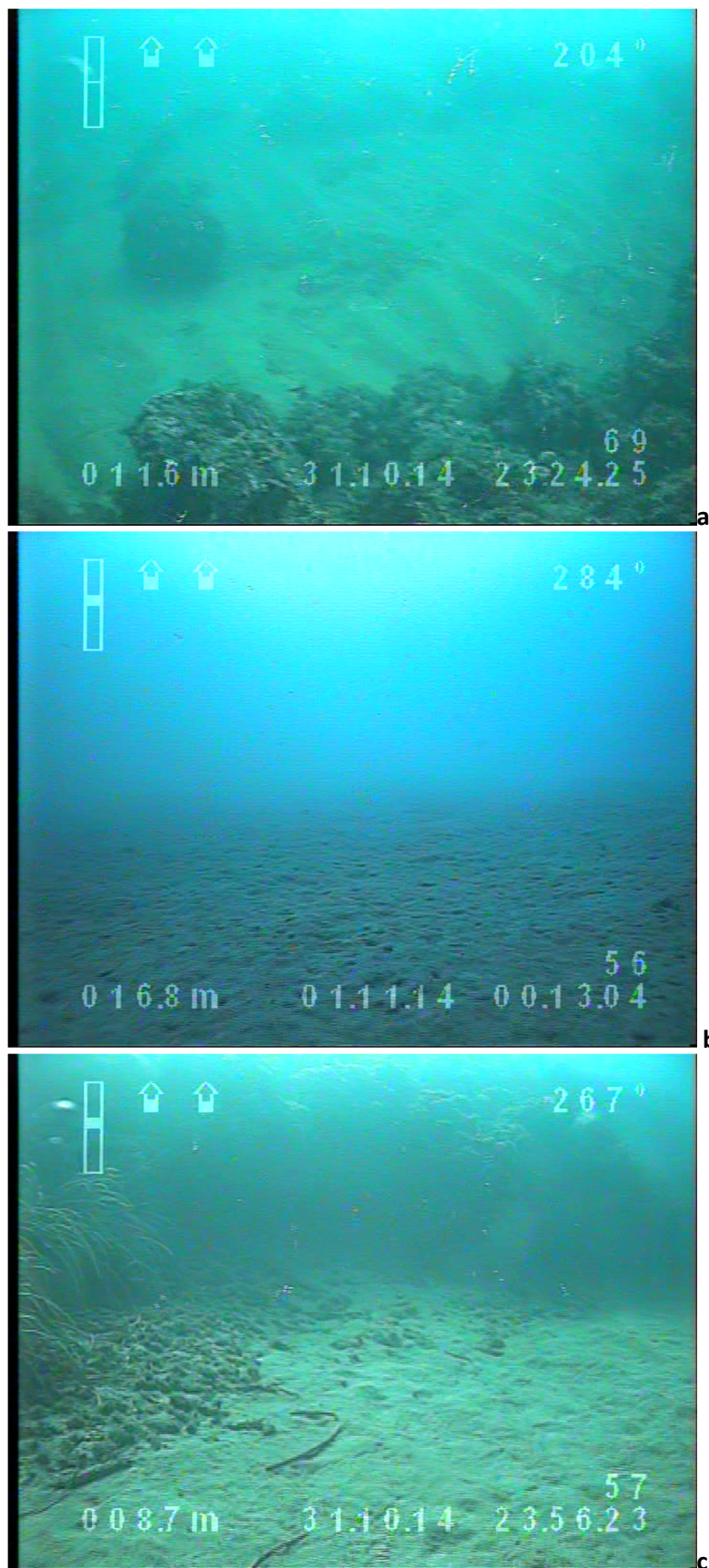


Foto 3.1.6. a,b,c. Sequenza di fermo immagine tratta dalle riprese ROV lungo il transetto n° 10. Gradino lato Nord (a), canale con fondo mobile (b) e gradino lato Sud (c).

Tabella 3.1.1. Lista dei taxa algali più abbondanti osservati su roccia infralitorale.

TAXA ALGALI
Chlorophyta <i>Caulerpa cylindracea</i> Sonder <i>Cladophora prolifera</i> (Roth) Kützinger <i>Codium bursa</i> (Olivi) C. Agardh <i>Codium coralloides</i> (Kützinger) P.C. Silva <i>Codium vermilare</i> (Olivi) Delle Chiaie <i>Flabellia petiolata</i> (Turra) Nizamuddin
Heterokontophyta <i>Cladostephus spongiosus</i> (Hudson) C. Agardh <i>Padina pavonica</i> (Linnaeus) Thivy <i>Stypocaulon scoparium</i> (Linnaeus) Kützinger
Rhodophyta <i>Asparagopsis taxiformis</i> (Delile) Trevisan de Saint-Léon <i>Corallina elongata</i> J. Ellis & Solander <i>Corallinales</i> spp. <i>Peyssonnelia</i> spp. <i>Sphaerococcus coronopifolius</i> Stackhouse <i>Tricleocarpa fragilis</i> (Linnaeus) Huisman & R.A. Townsend

Presenza di specie alloctone a carattere invasivo

Nel Mar Mediterraneo, negli ultimi anni, si sono insediate molte specie animali e vegetali di origine tropicale ed atlantica; questo fenomeno rientra a pieno titolo nelle forme di inquinamento biologico.

L'insediamento e la riproduzione in Mediterraneo di queste specie alloctone perlopiù ad affinità tropicale sono anche una conseguenza dei fenomeni di riscaldamento del pianeta (global warming), in questi casi si parla di "tropicalizzazione" del Mar Mediterraneo. Questo fenomeno va distinto da quello così detto di "meridionalizzazione" che implica invece lo spostamento di specie comunque autoctone oppure stabilitesi precocemente sulle coste nordafricane del Mediterraneo e che da queste o dal bacino orientale si muovono sempre più a Nord.

Sono oltre 300 le specie marine alloctone nel Mediterraneo. Alcune provengono dall'area indopacifica e sono penetrate nelle acque mediterranee attraverso il canale di Suez, queste specie vengono talvolta definite "lessepsiane". Altre specie alloctone sono invece di origine atlantica, e sono giunte nei nostri mari attraversando lo Stretto di Gibilterra.

Nei mari italiani si contano più di 30 specie vegetali e 70 specie animali di nuova introduzione. Alcune alghe indopacifiche del genere *Caulerpa* si sono rapidamente propagate nel Mediterraneo con modalità invasiva. La fitta copertura generata da *Caulerpa cylindracea* e da *Caulerpa taxifolia* danneggia i popolamenti algali autoctoni sottraendo luce e spazio e producendo sostanze tossiche (terpeni) che potrebbero avere effetti ancora non chiariti anche sulla salute dell'uomo.

Presso l'area indagata sono state osservate sia durante le prospezioni ROV che mediante le osservazioni effettuate dagli OSS le 2 specie algali alloctone *Asparagopsistaxiformis* (Delile) Trevisan de Saint-Léon e *Caulerpa cylindracea* Sonder (Tab. 3.1.1) (Foto 3.1.7 e 3.1.8).



Foto 3.1.7. *Asparagopsistaxiformis*



Foto 3.1.8. *Caulerpa cylindracea*

Asparagopsistaxiformis è una specie ad affinità tropicale o di acque temperate calde che mostra un comportamento fortemente invasivo tanto da essere inclusa nella lista delle “peggiori specie aliene invasive che minacciano la biodiversità in Europa (EEA, 2007) ed anche nella lista delle 100 “peggiori invasive nel Mediterraneo” (Streftaris & Zenetos, 2006).

Sebbene entrambe presenti, la specie più abbondante e più uniformemente distribuita nell'area indagata è *Caulerpacylindracea*. La specie è caratterizzata dalla parte eretta costituita da piccole vescicole tondeggianti che si dipartono da un asse longitudinale centrale. Può accrescersi indifferentemente sia su roccia che sui fondi sabbiosi fino ad oltre 70 metri di profondità. Una volta colonizzato il fondo, l'alga può arrivare a ricoprire tutto costituendo con gli stoloni un reticolo verde impenetrabile che può portare alla morte gli organismi sottostanti. La stagionalità dell'alga, che si accresce in particolar modo nei mesi caldi, permette ai popolamenti mediterranei pre-esistenti di non scomparire completamente grazie alla possibilità di continuare a svilupparsi quando *C. cylindracea* ha uno sviluppo vegetativo più rallentato.

Sebbene manchi una mappatura completa della distribuzione dell'alga, appare chiaro che *C. cylindracea* sia ormai diventata comune in tutto il Mediterraneo. La vastità delle aree ricoperte e la diversità degli habitat occupati fanno ritenere che le conseguenze negative della sua invasione non si siano ancora del tutto manifestate. Per questo motivo si rende necessario un continuo monitoraggio del fenomeno, al fine di mitigarne gli effetti negativi e valutare eventuali segnali di un nuovo equilibrio con le specie native del Mediterraneo.

Posidonia oceanica

Posidonia oceanica nell'area di impronta del SIC è presente da circa -5 metri di profondità fino alla batimetrica dei -18 m che costituisce il limite inferiore di distribuzione della pianta. Dalle osservazioni effettuate occorre distinguere tra le piante insediate su roccia e quelle su sabbia o matte.

Nel primo caso, in un intervallo batimetrico che si estende dal limite superiore di distribuzione della pianta fino a circa -10/-12 m di profondità, non si può parlare di una vera e propria prateria di *Posidonia*, ma piuttosto di un mosaico di popolamenti fotofili tra i quali si rinvenivano aree colonizzate dalla pianta che complessivamente su tutta l'area caratterizzata da roccia infralitorale possono generare una copertura massima di circa il 30%; va detto che mediamente la copertura risulta inferiore per la maggior parte dell'area a substrato duro sia pure con una elevatissima variabilità dovuta alle caratteristiche evidentemente non omogenee del substrato di impianto (Tab. 3.1.2).

Le piante insediate su sabbia o matte sono anch'esse distribuite in modo non uniforme. Macchie di *Posidonia* su sabbia sono presenti tra -8 e -12 metri di profondità, tuttavia, come detto precedentemente, solo nelle aree corrispondenti alla porzione centrale della mappa *P. oceanica* si struttura in vera e propria prateria e soprattutto in un intervallo batimetrico che va dai -12 ai -16 metri di profondità. In queste aree la prateria assume un aspetto quasi continuo. Intorno alla batimetrica dei -18 metri la presenza sporadica di piante vive alternate ad aree a matte morta, osservate queste ultime fino ad un massimo di 20 metri di profondità, fa pensare ad un limite di distribuzione della pianta che possiamo definire "regressivo" e che testimonia una situazione di "disagio" della pianta che aumenta con l'aumentare della profondità e che può essere associato ad un tasso di sedimentazione e condizioni di torbidità delle acque eccessive.

Sulla mappa, infine, sono stati indicati dei settori all'interno dei quali, indipendentemente dal substrato di impianto, *P. oceanica* si presenta a copertura quasi continua raggiungendo valori medi compresi tra 30% e 80%. Presso la stazione P2, collocata al di fuori di tali settori, la copertura, intesa come percentuale di substrato occupato dalla pianta, risulta infatti pari a 24.17 ± 10.75 (media $\pm$ Err.Std per $n = 4$), mentre presso la stazione P3, collocata all'interno di uno di tali settori,

la copertura è risultata pari a 55.83 ± 3.69 (media $\pm$ Err.Std per $n = 4$). Allo stesso modo anche la stazione S2, con un valore medio di copertura di 15.83 ± 3.69 (media $\pm$ Err.Std per $n = 4$), si discosta nettamente da quanto riscontrato nelle altre 4 stazioni superficiali (S1, S3, S4, S5) che si trovano all'interno dei settori dove la copertura varia tra 44.78 ± 7.45 in S5 e 80 ± 3.04 in S3 (media $\pm$ Err.Std per $n = 4$) (Tab. 3.1.2).

Censimento *P. nobilis*

Nel corso delle indagini effettuate mediante ROV sono stati osservati 6 individui di *Pinna nobilis* la cui posizione approssimativa è stata indicata sulla mappa (Fig. 3.1.1). Altri 7 individui sono invece stati osservati lungo i Belt Transect (BT) effettuati in immersione (Tab. 3.1.2).

Complessivamente nell'area sono dunque stati osservati 13 individui di *P. nobilis*.

Per una stima della densità abbiamo valutato esclusivamente il dato rilevato dagli operatori subacquei presso le 7 stazioni di campionamento dedicate allo scopo (Belt Transect). Dunque, all'interno di una superficie totale esplorata di 1680 m^2 ($= 240 \text{ m}^2 \times 7$ stazioni BT) la densità rilevata è stata di 1 individuo ogni 240 m^2 ($1680 \text{ m}^2 / 7$ individui). Riportando il dato per ettaro di substrato il risultato è di circa 42 ind/ha, va tuttavia sottolineato come tale stima possa essere ritenuta accurata solo considerando le superfici occupate dall'habitat che abbiamo definito "*Posidonia oceanica* (copertura $30\% < Po < 80\%$)" particolarmente adatto all'insediamento della che non è in grado di colonizzare il substrato roccioso e raramente si osserva lontano dalle aree vegetate.



Foto 3.1.9. Uno degli esemplari di *Pinna nobilis* osservati durante i rilevamenti ROV.

Coralligeno

Nella porzione di mappa più occidentale a profondità maggiori di -12/-14 metri, si estende un'area di fondo duro che si configura come habitat "coralligeno" (Fig. 3.1.1; Foto 3.1.10).

In quest'area le formazioni coralligene costituiscono un fondo estremamente eterogeneo ricco di spaccature e cavità. Occasionalmente si osservano più o meno ampi catini sabbiosi dove solo raramente sono stati osservati ciuffi sparsi di *Posidonia oceanica*.

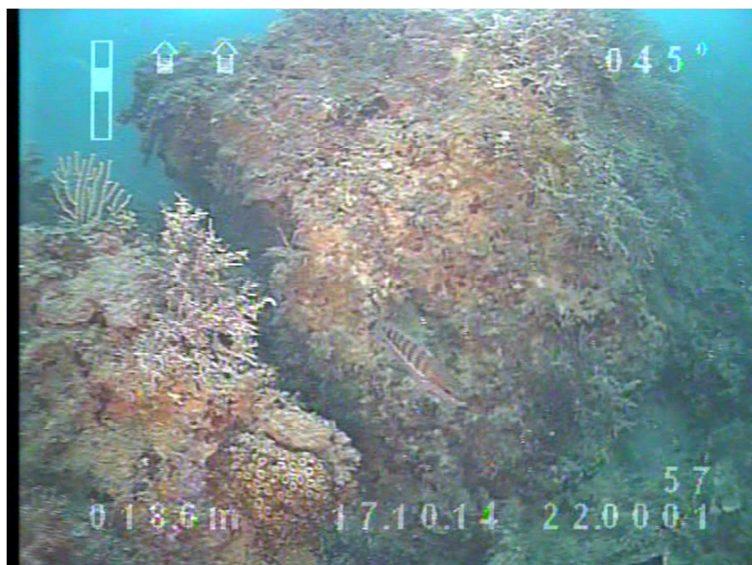


Foto 3.1.10. Esempio di formazione coralligena

Occorre sottolineare che gli elementi sciafili tipici delle formazioni coralligene si osservano in *enclave* un po' ovunque anche a pochi metri di profondità ad esempio nelle zone poco illuminate (pareti verticali e cavità) e nello strato basale ricoperto dal prevalente popolamento infralitorale fotofilo (Tab. 3.1.1).

Corallium rubrum

Popolamenti di *Corallium rubrum* non sono mai stati osservati né durante le esplorazioni effettuate mediante ROV né nel corso delle immersioni.

Tabella 3.1.2. Dati di copertura di *Posidonia oceanica* rilevati in immersione presso le stazioni P2, P3, S1, S2, S3, S4, S5 mediante la tecnica del Line Intercept Transect (LIT).

Stazione	Cop POS (m)	Cop R	Cop M	Cop S	Tot Lungh (m)	Cop % Pos	Pinna (ind)
P2 (15,5 m)							
T120	1			29	30	3,3	
T300	10	18		2	30	33,3	
T210	15			15	30	50	1
T30	3	8		19	30	10	
						24,2	media
						21,49	Dev.Std
						10,75	Err.Std
Stazione	Cop POS (m)	Cop R	Cop M	Cop S	Tot Lungh (m)	Cop % Pos	Pinna (ind)
P3 (15,5 m)							
T120 (16,6)	14	2		14	30	46,7	
T300 (16,1)	19			11	30	63,3	
T210 (16)	16			14	30	53,3	
T30 (15,3)	18	3		9	30	60	1
						55,8	media
						7,39	Dev.Std
						3,69	Err.Std
Stazione	Cop POS (m)	Cop R	Cop M	Cop S	Tot Lungh (m)	Cop % Pos	Pinna (ind)
S1 (5,5 m)							
T120 (5)	14	16			30	46,7	
T300 (5)	23	7			30	76,7	1
T210 (6)	9	21			30	30	
T30 (5,7)	13	17			30	43,3	
						49,2	media
						19,7	Dev.Std
						9,85	Err.Std
Stazione	Cop POS (m)	Cop R	Cop M	Cop S	Tot Lungh (m)	Cop % Pos	Pinna (ind)
S2 (6,5 m)							
T120 (10)	7	23			30	23,3	
T300 (6)	4	26			30	13,3	
T210 (9,5)	6	21		3	30	20	
T30 (7)	2	28			30	6,7	
						15,8	media
						7,39	Dev.Std
						3,69	Err.Std

Tabella 3.1.2. Continua							
Stazione	Cop POS (m)	Cop R	Cop M	Cop S	Tot Lungh (m)	Cop % Pos	Pinna (ind)
S3 (12 m)							
T120 (12,5)	25	3		2	30	83,3	1
T300 (12,5)	23	7			30	76,7	1
T210 (14,8)	22	5		3	30	73,3	1
T30 (11,4)	26	4			30	86,7	1
						80	media
						6,08	Dev.Std
						3,04	Err.Std
Stazione	Cop POS (m)	Cop R	Cop M	Cop S	Tot Lungh (m)	Cop % Pos	Pinna (ind)
S4 (5,5 m)							
T120 (5,5)	19	11			30	63,3	
T300 (5,5)	30				30	100	
T210 (6)	11	19			30	36,7	
T30 (5)	23	7			30	76,7	
						69,2	media
						26,44	Dev.Std
						13,22	Err.Std
Stazione	Cop POS (m)	Cop R	Cop M	Cop S	Tot Lungh (m)	Cop % Pos	Pinna (ind)
S5 (12 m)							
T120 (11,1)	12	18			30	40	
T300 (12)	17	13			30	56,7	
T210 (13)	17	13			30	56,7	
T30 (10)	8	23			31	25,8	
						44,8	media
						14,89	Dev.Std
						7,45	Err.Std

Fondi mobili

Nella porzione centrale e meridionale della mappa si osservano fondi mobili prevalentemente costituiti da sabbia organogena che all'aumentare della profondità appare sempre più infangata. Su tale substrato soprattutto nella porzione centrale della mappa si osservano aree solo sporadicamente colonizzate da *Posidonia oceanica* su sabbia e su matte.

La mappa evidenzia inoltre la presenza di un canalone, già citato in precedenza, che separa nettamente le due aree a fondo roccioso descritte in precedenza. Il canale partendo dalla costa e raggiunto il punto più stretto tra le due piattaforme rocciose si prolunga verso il largo degradando dolcemente fino ad oltre la batimetria dei -20 metri e contemporaneamente si allarga verso nord costituendo una ampia radura i cui margini sono descritti dal limite inferiore della prateria di *P. oceanica* insediata su sabbia.

Valutazione quantitativa della presenza di *Posidonia oceanica* nell'area mappata

Una stima quantitativa attendibile della presenza di *P. oceanica* nell'area di impronta del SIC presso P.ta della Mattonara si basa sulle misure dell'estensione degli Habitat sui quali è stata rilevata la presenza della pianta ed i dati di copertura acquisiti.

Nel dettaglio, laddove la presenza di *Posidonia oceanica* raggiunge una copertura massima minore del 30%, per una superficie totale dell'Habitat "Roccia infralitorale con alghe fotofile" valutata in 24,1 ettari la **presenza massima di *Posidonia* può essere stimata pari a 7,2 ettari** cioè il 30% di 24,1. Va sottolineato che in questo modo si parte dal presupposto che la pianta occupi sempre il 30% del substrato cosa ovviamente non vera, quindi la stima è per eccesso. Infatti, in questa tipologia di fondo la pianta può essere anche totalmente assente dunque **una stima di copertura attendibile potrebbe essere valutata in una media tra i due estremi e quindi in circa 3.6 ettari.**

La superficie dove *Posidonia oceanica* presenta copertura variabile tra 30% e 80%, ottenuta come somma dei settori indicati sulla mappa a maggior copertura della pianta indipendentemente dal substrato di impianto, è pari a 7,9 ettari. In relazione a tale porzione di substrato la presenza di *Posidonia* può essere valutata da un minimo di 2,5 ettari (= 30% di 7,9) ad un massimo di 6,3 ettari (= 80% di 7,9). **Anche in questo caso, una stima attendibile potrebbe essere valutata in una media tra i due estremi e quindi in circa 4,4 ettari.**

In definitiva, si ritiene che con giusta approssimazione la superficie di fondo marino occupato da *Posidonia oceanica* sia valutabile tra gli 8 ed i 13 ettari (Tab. 3.1.3).

Tabella 3.1.3. Valutazione quantitativa della presenza di *Posidonia oceanica* presso l'area indagata di P.ta della Mattonara.

Habitat	Superficie (ha)	Copertura <i>Posidonia</i> minima (ha)	Copertura <i>Posidonia</i> media(ha)	Copertura <i>Posidonia</i> max (ha)
Roccia infralitorale con alghe fotofile, con presenza di <i>Posidonia oceanica</i> (copertura $Po < 30\%$)	24.1	0	3.6	7.2
<i>Posidonia oceanica</i> (copertura $30\% < Po < 80\%$)	7.9	2.5	4.4	6.3
Fondo mobile e/o matre morta, con sporadica presenza di <i>Posidonia oceanica</i> + Fondo mobile	8.8	trascurabile	trascurabile	trascurabile
Coralligeno	3.5	0	0	0
TOTALE		2.5	8	13.5

4.2. Studio stato di qualità *Posidonia oceanica*

La valutazione quali-quantitativa della prateria di *P. oceanica* nell'area di impronta del SIC presso P.ta della Mattonara è stata eseguita mediante:

- Studio *in situ* (macro-ripartizione) dei fascicoli fogliari all'interno della prateria (densità);
- studio biometrico in laboratorio dei fascicoli fogliari (micro-ripartizione).

I campionamenti e lo studio *in situ* sono stati eseguiti presso le stazioni D1, D2 e D3 (Fig. 2.1.5; Tab 2.2.1).

Macro-ripartizione

La stima della densità è stata effettuata in immersione subacquea mediante conta dei fascicoli fogliari in quadrati di 40 cm di lato. I risultati sono poi stati estrapolati al metro quadro permettendo la classificazione della prateria in accordo a quanto proposto da Pergent *et al.* (1995) e comunemente adottato dalla comunità scientifica anche in Italia (Gambi M.C. e Dappiano M., 2004) (Tab. 3.2.1).

Tabella 3.2.1. Classificazione delle praterie di *Posidonia oceanica*. Sono riportati i valori di densità (fasci/m²) di riferimento per le profondità comprese tra i 5 ed i 14 metri (da Pergent *et al.*, 1995, modificato).

Praterie molto disturbate		Praterie disturbate		Praterie in equilibrio			
Profondità (m)	Densità anormale		Densità subnormale bassa		Densità normale		Densità subnormale alta
5		413	< - >	525	< - >	749	
6		367	< - >	479	< - >	703	
7		327	< - >	429	< - >	663	
8		294	< - >	406	< - >	630	
9		264	< - >	376	< - >	600	
10		237	< - >	349	< - >	573	
11		213	< - >	325	< - >	549	
12		191	< - >	303	< - >	527	
13		170	< - >	282	< - >	506	
14		151	< - >	263	< - >	487	

Dall'analisi delle immagini ROV e dai rilievi eseguiti in immersione dagli OSS, presso le stazioni di campionamento il substrato è costituito principalmente da una piattaforma rocciosa talvolta interrotta da catini sabbiosi di modesta grandezza. La pianta è distribuita a macchie colonizzando in modo discontinuo sia la roccia che la sabbia nei catini con coperture variabili tra 30% e 80%.

Considerando la profondità di campionamento tra -5 e -6 m, le condizioni della pianta devono essere considerate "in equilibrio". Infatti, presso le 3 stazioni indagate tutti i valori di densità (media per stazione) (Tab. 3.2.2) sono sempre risultati maggiori del valore di riferimento di 525 fasci/m² (Tab. 3.2.1).

Tale risultato è in accordo con quanto rilevato in D1 nelle indagini effettuate nel gennaio 2012, sebbene allora il campionamento fu fatto ad una profondità maggiore (-13 m). Allora, i valori medi di densità risultarono compresi tra 306,25±59,07 e 339,58±26,10 (fasci/m² ± ES per n = 3) (Tab. 3.2.3), tali densità configuravano una prateria "in equilibrio" ricadendo sempre all'interno dell'intervallo dei valori di riferimento 282 e 506 fasci/m² (Tab. 3.2.1).

Sempre nel 2012 si riferiva, invece, di una prateria "disturbata" presso D2 e D3. Va detto che il confronto 2012 vs 2014 non è possibile per la stazione D2 in quanto, per il modificato stato di fatto dell'area di indagine, i rilevamenti attuali sono relativi ad un'area prossima ma non identica a quella precedentemente indagata. Per quanto riguarda la stazione D3, sebbene i dati di copertura siano paragonabili tra le due date (tra 30% e 40%), la stima della densità 2012 configurava una prateria "disturbata", infatti i valori medi variavano tra 402,08±30,05 e 479,17±62,12 (fasci/m² ± ES per n = 3) (Tab. 3.2.3) risultando quindi leggermente inferiori o compresi tra i valori di riferimento 413 e 525 fasci/m² (Tab. 3.2.1).

Come già affermato nel paragrafo 3.1 di questa relazione nel caso in esame per le piante insediate su roccia non si può parlare di una vera e propria prateria di *Posidonia*, ma piuttosto di un mosaico di popolamenti fotofili tra i quali si rinvencono aree colonizzate dalla pianta che complessivamente possono generare coperture e densità estremamente variabili in virtù della natura disomogenea del substrato di impianto. Questo potrebbe spiegare le differenze riscontrate tra i risultati ottenuti nelle due diverse date di campionamento.

Al fine di ottenere una ulteriore valutazione dello stato di qualità di *Posidonia oceanica* è stato elaborato l'indice PREI, che ha ulteriormente supportato la conclusione per la quale la pianta nell'area di indagine versa in uno stato "buono" (Tab. 3.2.4).

Tabella 3.2.2. Valori di densità misurati presso le tre stazioni di campionamento (D1, D2, D3).

P.tadella MATTONARA OTTOBRE 2014				
Densità				
D1 (-6 m)	A1	A2	A3	
		82	103	65
		92	81	91
		85	90	75
40X40	86,33333	91,33333	77	Media Stazione
mq	539,5833	570,8333	481,25	530,5555556
Dev.St	5,131601	11,06044	13,11488	
Err.St	2,962818	6,385935	7,5721	
D2 (-5 m)	A1	A2	A3	
		134	57	111
		104	90	123
		81	85	75
40X40	106,3333	77,33333	103	Media Stazione
mq	664,5833	483,3333	643,75	597,2222222
Dev.St	26,57693	17,78576	24,97999	
Err.St	15,34465	10,26892	14,42263	
D3 (-5 m)	A1	A2	A3	
		120	92	85
		102	100	112
		95	84	87
40X40	105,6667	92	94,66667	Media Stazione
mq	660,4167	575	591,6667	609,0277778
Dev.St	12,89703	8	15,04438	
Err.St	7,446321	4,618938	8,686131	

Tabella 3.2.3. Valori di densità e copertura misurati nel gennaio 2012 presso le stazioni D1 e D3.

Stazione D1 (-13 m)	Area 1	Area 2	Area 3
Densità (fasci/m2)	318,75±43,75	306,25±59,07	339,58±26,10
Copertura substrato %	20	20	15
Stazione D3 (-5 m)			
Densità (fasci/m2)	479,17±62,12	458,33±37,56	402,08±30,05
Copertura substrato %	40	40	30

Tabella 3.2.4. Valore dell'indice di qualità ambientale PREI.

Località	STAZ	Descrittori	Valori	PREI			
				N	EQR'	EQR	Qualità
Porto	D2	Densità (fascio/m2)	597,22	1,00	0,581	0,628	BUONA
Mattonara		Superficie fogliare (cm2/fascio)	145.86	0,47			
		Prof limite inf (m)	18	0,12			
		Biomassa epifiti (E) (mg/fascio)	0,0575389	0,45			
		Biomassa Fogliare (L) (mg/fascio)	0,5707556				
		Tipo di limite (λ) (*)	-3				

Micro-ripartizione

Lo studio biometrico eseguito in laboratorio sui fascicoli fogliari ha portato ai risultati riassunti in Tabella 3.2.5.

La struttura fenologica della pianta ha mostrato un numero di foglie adulte, intermedie e giovanili tipico del periodo esaminato così come i valori di lunghezza e larghezza media delle foglie.

La superficie fogliare (superficie fotosintetizzante) nelle tre stazioni varia tra 243,89 cm²/fascio in D3 e 298,11 cm²/fascio in D2, tali valori, derivati dalle misure biometriche, sono rappresentativi di una buona attività vegetativa della pianta relativamente al periodo di campionamento ed abbastanza vicini al valore di riferimento di 310 cm²/fascio utilizzato per il calcolo dell'indice PREI.

L'indice di superficie fogliare (LAI) varia tra 7,17 in D1 e 8,90 in D2. Tali valori sono da considerare normali per *P. oceanica* in relazione all'area geografica, alla data di campionamento ed al substrato di impianto.

Le foglie sono risultate abbastanza spesso rotte come testimoniano i valori del coefficiente A che variano tra il 27% in D2 ed il 34% in D3. Mediamente dunque, circa un terzo delle foglie è stato spezzato per l'azione meccanica dovuta all'idrodinamismo e/o per l'azione degli erbivori.

I dati fenologici rilevati nel gennaio 2012 appaiono nel complesso comparabili a quelli attuali (Tab. 3.2.6).

In particolare la superficie fogliare media varia tra 241,74 cm²/fascio in D3 e 290,48 cm²/fascio in D2 e, dal momento che questi valori derivano dalle misure biometriche, possiamo essere certi che anche tali misure siano comparabili tra le due date di campionamento.

Distanti appaiono invece i valori del LAI a causa delle differenze riscontrate tra le densità misurate nel 2012 e quelle del 2014 di cui abbiamo precedentemente riferito.

Tabella 3.2.5. Misure delle variabili fenologiche calcolate per le piante di *Posidonia oceanica* all'interno di ogni stazione (D1, D2, D3).

Stazione D1		
Variabili	Media per fascio	Dev. Standard
Superficie fogliare per fascio	270,35	
L.A.I. valore calcolato per stazione	7,17	
Numero di foglie Adulte	3,39	0,70
Numero di foglie Intermedie	2,61	0,78
Numero di foglie Giovanili	1,78	0,80
Lunghezza foglie Adulte	35,46	8,00
Lunghezza base	3,48	0,60
Lunghezza foglie Intermedie	15,39	6,46
Lunghezza foglie Giovanili	1,76	0,67
Lunghezza tessuto bruno	11,64	13,83
Larghezza foglie Adulte	0,94	0,07
Larghezza foglie Intermedie	0,93	0,06
Larghezza foglie Giovanili	0,71	0,13
Coefficiente A	31%	

Stazione D2		
Variabili	Media	Dev. Standard
Superficie fogliare per fascio	298,11	
L.A.I.	8,90	
Numero di foglie Adulte per fascio	3,55	0,61
Numero di foglie Intermedie per fascio	2,94	0,42
Numero di foglie Giovanili per fascio	1,28	0,67
Lunghezza foglie Adulte	34,67	4,59
Lunghezza base	3,9	0,27
Lunghezza foglie Intermedie	18,88	2,69
Lunghezza foglie Giovanili	2,55	1,28
Lunghezza tessuto bruno	6,39	9,77
Larghezza foglie Adulte	0,92	0,08
Larghezza foglie Intermedie	0,89	0,07
Larghezza foglie Giovanili	0,74	0,2
Coefficiente A	27%	

Stazione D3		
Variabili	Media	Dev. Standard
Superficie fogliare per fascio	243,89	
L.A.I.	7,43	
Numero di foglie Adulte per fascio	3,44	0,51
Numero di foglie Intermedie per fascio	2,61	0,50
Numero di foglie Giovanili per fascio	1,66	0,59
Lunghezza foglie Adulte	28,77	6,90
Lunghezza base	3,31	0,59
Lunghezza foglie Intermedie	15,26	2,79
Lunghezza foglie Giovanili	2,08	0,76
Lunghezza tessuto bruno	2,19	3,93
Larghezza foglie Adulte	0,95	0,08
Larghezza foglie Intermedie	0,94	0,07
Larghezza foglie Giovanili	0,74	0,02
Coefficiente A	34%	

Tabella 3.2.6. Misure di superficie fogliare e Leaf Area Index (LAI) calcolate per le piante Di *Posidonia oceanica* campionate a gennaio 2012 all'interno di ogni stazione (D1, D2, D3).

D1		
	Media	Dev. Standard
Superficie fogliare media per fascio	277.36	30,21
L.A.I.	4,46	
D2		
	Media	Dev. Standard
Superficie fogliare media per fascio	290.48	14,58
L.A.I.	4,8	
D3		
	Media	Dev. Standard
Superficie fogliare media per fascio	241.74	22,76
L.A.I.	5,4	

4.3. Distribuzione e stato di qualità coralligeno

La distribuzione del coralligeno nell'area indagata è stata rappresentata in Figura 3.1.1.

Lo studio relativo allo stato di qualità del coralligeno è stato fatto analizzando in laboratorio 4 campioni (grattaggi) prelevati presso la stazione P1 alla profondità di circa 16/17 metri (Fig. 2.1.5; Tab. 2.3.1).

In totale sono state identificate 51 taxa algali, di cui 4 Chlorophyta, 8 Heterokontophytae 41 Rhodophyta (Tab.3.3.1).

Il popolamento sessile si sviluppa sulle strutture calcaree delle Corallinales che rappresentano il 100% del ricoprimento dei campioni.

Il ricoprimento medio degli altri taxa è $86,5 \pm 5,3$ (media $\pm$ ES, n=4). Il numero medio delle specie algali che si accrescono sulle Corallinales calcolato come media per campione è $33,5 \pm 1,9$.

Il popolamento è dominato dalle alghe rosse del genere *Peyssonnelia*, mentre gli altri taxa/gruppi morfologici mostrano ricoprimenti inferiori al 10% (Fig. 3.3.1).

Tra gli animali sessili, sono maggiormente rappresentati i briozoi eretti e la gorgonia *Eunicella cavolini* (Koch, 1887). L'indice di qualità ESCA calcolato sui campioni ha dato un valore di 0.60 (Tab. 3.3.2), che indica un valore limite tra una qualità moderata e buona; quest'ultima rappresenta il limite accettato dagli standard europei.

Scomponendo i differenti descrittori dell'indice si può evidenziare che la ricchezza di specie del popolamento è da ritenere piuttosto elevata, mentre è molto bassa l'eterogeneità (Tab. 3.3.2), un pattern che indica un popolamento sottoposto a stress ambientali.

Naturalmente il valore di qualità calcolato è da considerare solo indicativo in quanto ottenuto da un numero basso di campioni. Un campionamento più ampio è da ritenere necessario per valutare la qualità ecologica del coralligeno dell'area di interesse.

Tabella 3.3.1. Lista dei taxa algali dell'habitat coralligeno.

TAXA	Ricoprimento percentuale medio	Errore standard
Chlorophyta		
<i>Cladophora prolifera</i> (Roth) Kützing	0,9	0,6
<i>Flabellia petiolata</i> (Turra) Nizamuddin	1,3	1,1
<i>Palmophyllum crassum</i> (Naccari) Rabenhorst	0,5	0,3
<i>Pseudochlorodesmis furcellata</i> (Zanardini) Børgesen	1,3	0,2
Heterokontophyta		
<i>Cutleria chilosa</i> (Falkenberg) P.C. Silva (sporophyte "Aglaozonia")	0,7	0,4
<i>Dictyopteris polypodioides</i> (A.P. De Candolle) J.V. Lamouroux	0,13	0,14
<i>Dictyota linearis</i> (C. Agardh) Greville	0,0	0,0
<i>Halopteris filicina</i> (Grateloup) Kützing	0,8	0,3
<i>Sphacelaria plumula</i> Zanardini	0,1	0,1
<i>Zanardiniatypus</i> (Nardo) G. Furnari	1,7	1,6
Rhodophyta		
<i>Acrodiscus vidovichii</i> (Meneghini) Zanardini	0,33	0,33
<i>Acrosorium venulosum</i> (Zanardini) Kylin	0,67	0,66
<i>Acrothamnion preissii</i> (Sonder) Wollaston	0,47	0,03
<i>Aglaothamnion tenuissimum</i> (Bonnemaison) Feldmann-Mazoyer	0,27	0,12
<i>Amphiroa beauvoisii</i> J.V. Lamouroux	0,33	0,33
<i>Anthithamnion piliferum</i> Cormaciet Furnari	0,20	0,06
<i>Apoglossum ruscifolium</i> (Turner) J. Agardh	0,10	0,00
<i>Botryocladia botryoides</i> (Wulfen) Feldmann	0,10	0,00
<i>Ceramium cimbricum</i> H.E. Petersen	0,03	0,03
<i>Ceramium codii</i> (H. Richards) Feldmann-Mazoyer	0,10	0,00
<i>Champia parvula</i> (C. Agardh) Harvey	0,03	0,03
<i>Chondriacapillaris</i> (Hudson) M.J. Wynne	0,10	0,06
<i>Compsothamnion thuyoides</i> (Smith) Nägeli	0,03	0,03
<i>Contarinia peyssonellaeformis</i> Zanardini	0,70	0,40
<i>Contarinia squamariae</i> (Meneghini) Denizot	3,00	1,51
<i>Crouania attenuata</i> (C. Agardh) J. Agardh	0,03	0,03
<i>Dasyarigidula</i> (Kützing) Ardisson	0,10	0,06
<i>Eupogonon planus</i> (C. Agardh) Kützing	0,50	0,17
<i>Feldmannophycus rayssiae</i> (Feldmann) Feldmann-Mazoyer Augier et Boudouresque	0,50	0,17
<i>Griffithsia schousboei</i> Montagne	0,03	0,03
<i>Jania adhaerens</i> J. V. Lamouroux	0,03	0,03
<i>Herposiphonia secunda</i> (C. Agardh) Ambronn	0,07	0,07
<i>Hypoglossum hypoglossoides</i> (Stackhouse) Collins et Harvey	0,07	0,03
<i>Laurencia chondrioides</i> Børgesen	0,25	0,29
<i>Lomentaria clavaeformis</i> Ercegovic	0,03	0,03
<i>Meredithia microphylla</i> (J. Agardh) J. Agardh	2,33	1,35
<i>Monosporus pedicellatus</i> (J.E. Smith) Solier	0,03	0,03
<i>Nitophyllum micropunctatum</i> Funk	0,03	0,03

<i>Peyssonneliapolymorpha</i> (Zanardini) F. Schmitz	0,88	0,68
<i>Peyssonnelia rubra</i> (Greville) J. Agardh	63,00	6,18
<i>Peyssonnelia stoechas</i> Boudouresque et Denizot	1,33	0,59
<i>Plocamium cartilagineum</i> (Linnaeus) P.S. Dixon	0,07	0,03
<i>Polysiphonia furcellata</i> (C. Agardh) Harvey	0,10	0,00
<i>Polysiphonia perforans</i> Cormaci, G. Furnari, Pizzuto et Serio	0,23	0,07
<i>Pterosiphonia parasitica</i> (Hudson) Falkenberg	0,03	0,03
<i>Pterothamnion plumula</i> (Ellis) Nägeli	0,60	0,20
<i>Ptilothamnion pluma</i> (Dillwyn) Thuret	0,17	0,03
<i>Radicilinguareptans</i> (Kylin) Papenfuss	0,17	0,07
<i>Rhodophyllis divaricata</i> (Stackhouse) Papenfuss	0,03	0,03
<i>Rodriguezella strafforello</i> F. Schmitz	0,27	0,09
<i>Spermothamnion repens</i> (Dillwyn) Rosenvinge	0,10	0,06

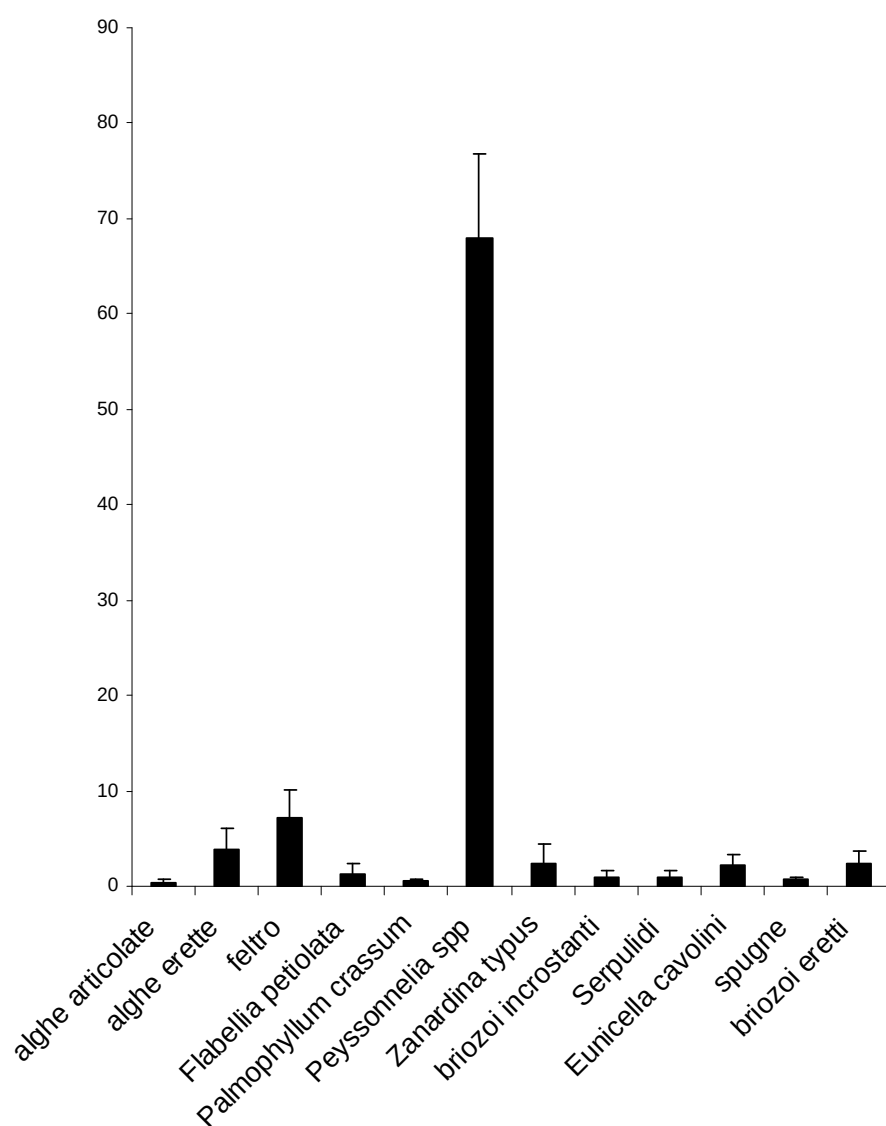


Figura 3.3.1. ricoprimento percentuale dei principali taxa/gruppi morfologici

Tabella 3.3.2. Valore dell'indice di qualità ambientale ESCA

Descrittore	Qualità ecologica	Ricchezza di specie/gruppi	Eterogeneità	EQR
Valore calcolato	0.64	0.90	0.27	0.60

Bibliografia citata

- Buia M.C., Gambi M.C. e Dappiano M., 2004. Sistemi a fanerogame marine. In: *Manuale di metodologie di campionamento e studio del benthos marino mediterraneo*. Gambi M.C. e Dappiano M., Editori. *Biol. Mar. Medit.* 11 (Suppl. 1): 133-183.
- Bianchi C.N., Prozato R., Cattaneo-Vietti R., Benedetti Cecchi L., Morri C., Pansini M., Chemello R., Milazzo M., Fraschetti S., Terlizzi A., Peirano A., Salvati E., Benzoni F., Calcinai B., Cerrano C. e Bavestrello G., 2004. Fondi duri. In: *Manuale di metodologie di campionamento e studio del benthos marino mediterraneo*. Gambi M.C. e Dappiano M., Editori. *Biol. Mar. Medit.* 11 (Suppl. 1): 185-215.
- Cecchi E., Gennaro P., Piazzil L., Ricevuto E. e Serena F., 2014. Development of a new biotic index for ecological status assessment of Italian coast waters based on coralligenous macroalgal assemblages. *European Journal of Phycology*, 49:3, 298-312.
- Colantoni, P., 1995 - Cartografia delle praterie di *Posidonia*. In: Cinelli F., Fresi E., Lorenzi C. e Mucedola A. (eds), *Suppl della Rivista marittima*: 106-115.
- EEA, 2007. Technical Report N° 11/2007. European Environmental Agency, Copenhagen, Denmark. 182 pp.
- MATTM (Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare), 2010. DECRETO 8 novembre 2010, n. 260: Regolamento recante i criteri tecnici per la classificazione dello stato dei corpi idrici superficiali, per la modifica delle norme tecniche del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, recante norme in materia ambientale, predisposto ai sensi dell'articolo 75, comma 3, del medesimo decreto legislativo. *Gazzetta Ufficiale, Suppl. ordinario n. 31/L*.
- Pergent G., Pergent-Martini C., Boudouresque C.F., 1995. Utilisation de l'herbier à *Posidonia oceanica* comme indicateur biologique de la qualité du milieu littoral en Méditerranée: état des connaissances. *Mésogée*, 54:3-27.
- Piazzil L., Acunto S., Cinelli F., 2000. Mapping of *Posidonia oceanica* beds around Elba Island (western Mediterranean, Italy) with integration of direct and indirect methods. *Oceanologica Acta* 23 (3): 339-346
- Streftaris N. & Zenetos A., 2006. Alien marine species in the Mediterranean, the 100 "Worst Invasives" and their impact. *Medit. Mar. Sci.* 7/1: 87-118.



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

ALLEGATO A

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

Cliente: Enel Produzione S.p.A. – PSV-NCO

Oggetto: **Dispersione in Mare delle Acque di Raffreddamento delle Centrali di Torrevaldaliga Nord e Sud in Presenza delle Nuove Banchine Enel e con Scarico TVS Esterno alla Darsena**

Ordine: E-mail da L. Arrighi del 19/08/02 conferma ordine offerta CESI 41/00159-01/741/RdOA2/018977

Note:

senza l'autorizzazione scritta del CESI questo documento può essere riprodotto solo integralmente

N. pagine: 90

N. pagine fuori testo: 0

Data: 09/09/2002

Elaborato: CESI-AMB-PRI

G. Agate
R. Guandalini

Verificato: CESI-AMB-PRI

L. Nigro

Approvato: CESI-AMB-PRI

L. Nigro

Indice

SOMMARIO	4
1 INTRODUZIONE	5
1.1 PREMessa	5
1.2 RICHIAMI RELATIVI AI PRECEDENTI STUDI	5
1.3 OGGETTO DELLO STUDIO	6
1.4 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	8
2 SIMULAZIONE NUMERICA DELLA DISPERSIONE TERMICA	10
2.1 PREMessa	10
2.2 CENNI SULLE CARATTERISTICHE DEL CODICE TRIMDI	10
2.3 CONDIZIONI INFLUENZANTI LA DISPERSIONE TERMICA	12
2.4 CARATTERISTICHE DEL PROGETTO PER LA NUOVA DARSENA GRANDI MASSE	12
2.5 CARATTERISTICHE DELLE OPERE DI SCARICO E PRESA	13
2.5.1 <i>Caratteristiche della nuova opera di scarico di Torrevaldaliga Sud</i>	14
2.5.2 <i>Caratteristiche della nuova opera di presa di Torrevaldaliga Sud</i>	23
2.5.3 <i>Caratteristiche delle opere di scarico e presa di Torrevaldaliga Nord</i>	25
2.6 BATIMETRIA E CONFIGURAZIONE COSTIERA	26
2.7 CONDIZIONI DI ESERCIZIO DELLE CENTRALI	30
2.8 SCHEMATIZZAZIONE DEL CALCOLO	32
2.9 CONDIZIONI INIZIALI E CONDIZIONI AL CONTORNO	35
3 ANALISI DEI RISULTATI	39
3.1 PREMessa	39
3.2 DISTRIBUZIONE DELLA TEMPERATURA E CAMPO DI MOTO	39
3.2.1 <i>Caso A1 con presa esterna. Condizioni di vento da NW e di corrente verso SE</i>	39
3.2.2 <i>Caso A2 con presa esterna. Condizioni di vento da SW e di corrente diretta verso SE</i>	50
3.2.3 <i>Caso B1 con presa interna. Condizioni di vento da NW e di corrente diretta verso NW</i>	61
3.2.4 <i>Caso B2 con presa interna. Condizioni di calma di vento e di corrente verso NW</i>	72
3.3 ANALISI DEI FLUSSI TERMICI E DEI LIMITI TERMICI	83
3.4 LA VALUTAZIONE DEL SOVRALZO TERMICO A 1000 M	84
4 CONSIDERAZIONI FINALI	90

STORIA DELLE REVISIONI

Numero revisione	Data	Protocollo	Lista delle modifiche e/o dei paragrafi modificati
0	09/09/2002	A2/028015	Prima emissione

SOMMARIO

Il presente rapporto descrive i risultati dello studio della dispersione in mare delle acque di raffreddamento della centrale di Torrevaldaliga Nord, in presenza della nuova darsena grandi masse del porto di Civitavecchia, nella sua versione definitiva così come approvata dal consorzio del porto, ma tenendo conto del nuovo assetto dei gruppi ipotizzato per la centrale di Torrevaldaliga Sud, della riduzione della quantità di calore scaricato in mare per la stessa centrale e della rilocalizzazione delle nuove banchine carbone e gessi di Torrevaldaliga Nord.

Caratteristica peculiare dello studio è poi l'ipotesi di prelevare l'acqua di raffreddamento per la centrale di Torrevaldaliga Sud e di scaricarla in mare al di fuori della darsena stessa, considerando l'opera di presa inglobata nella banchina polifunzionale di riva e l'opera di scarico realizzata mediante tubazioni interrato sul fondo della darsena e terminanti al di fuori del molo di sopraflutto.

Lo studio, realizzato mediante simulazioni numeriche tridimensionali, si è sviluppato sulla base di precedenti studi, condotti per conto di Enel Produzione S.p.A., nelle condizioni meteomarine risultate più critiche, allo scopo di verificare il riscaldamento in darsena ed il rispetto dei limiti di legge.

ABSTRACT

This report describes the results of the study of the dispersion in the sea of the cooling water of the Torrevaldaliga Nord power plant, considering the new dock of the Civitavecchia harbor, in its final design as approved by the harbor council, but accounting for the new group configuration as designed for the Torrevaldaliga Sud power plant, the reduction of the heat discharged into the sea by the plant and for the relocation of the new coal and plaster wharves of Torrevaldaliga Nord plant.

The main feature of the study is the assumption that the cooling water of the Torrevaldaliga Sud power plant is drawn and discharged outside of the new dock, considering the new intake included in the multi-functional shore wharf and the discharge realized by means of pipes buried in the dock bottom that end outside the external wharf.

The study, performed using numerical simulations, has been carried out on the base of previous studies, committed by Enel Produzione S.p.A., in the meteomarine conditions resulted the most critical ones, with the aim of verifying the heating of the dock and the respect of the law provisions.

1 INTRODUZIONE

1.1 Premessa

Il presente rapporto descrive lo studio condotto da CESI S.p.A per conto di Enel Produzione S.p.A., volto ad esaminare la dispersione delle acque di raffreddamento sia della centrale di Torrevaldaliga Nord, di proprietà Enel Produzione S.p.A., che della centrale di Torrevaldaliga Sud, di proprietà Interpower S.p.A., alla luce delle modifiche progettuali e di assetto intervenute sia per le centrali stesse che nelle opere a mare previste nel progetto.

Infatti, la dispersione delle acque di raffreddamento della centrale di Torrevaldaliga Nord, così come la dispersione di quelle della vicina centrale di Torrevaldaliga Sud, è fortemente interessata dal progetto di ampliamento del porto di Civitavecchia ed in particolare dalla costruenda darsena grandi masse, nonché dalla prevista realizzazione delle nuove banchine Enel da realizzarsi proprio in prossimità dell'opera di scarico di Torrevaldaliga Nord.

Il progetto della nuova darsena, le modifiche di assetto dei gruppi e le diverse necessità emerse nel corso degli ultimi anni hanno di fatto portato ad una successione di configurazioni progettuali ed operative che sono state di volta in volta studiate dal punto di vista della loro influenza sulla dispersione termica in mare delle acque di raffreddamento. Il presente studio fa pertanto riferimento alla esperienza accumulata nella valutazione di tali configurazioni.

1.2 Richiami relativi ai precedenti studi

La centrale termoelettrica di Torrevaldaliga Sud scarica le acque di raffreddamento in vicinanza dell'attuale porto di Civitavecchia mediante due diffusori a pelo libero; in seguito al progetto di ampliamento del porto con la costruzione della nuova darsena grandi masse, con conseguente modifica delle opere portuali attualmente esistenti e la costruzione di un nuovo molo di sopraflutto che si prolungherà fin davanti alla centrale, le opere di scarico e di presa della centrale stessa si verranno a trovare all'interno di un bacino chiuso.

Per quanto riguarda le opere di presa, nel progetto originale era previsto il loro spostamento all'esterno del molo di sopraflutto, allo scopo di impedire la formazione di fenomeni di ricircolo termico, mentre viceversa i diffusori di scarico venivano mantenuti nella loro posizione attuale, a ridosso della banchina polifunzionale di riva. Il mantenimento dell'opera di presa entro la darsena, infatti, renderebbe di fatto impossibile il funzionamento della centrale, sia per motivi di rendimento che per motivi ambientali legati al rispetto dei limiti sull'incremento termico a 1000 m previsti dalle norme vigenti.

Più precisamente, nel progetto consolidato al 2001, l'opera di presa della centrale di Torrevaldaliga Sud era spostata all'esterno del molo di sopraflutto in corrispondenza alla banchina polifunzionale di riva, con la realizzazione di una unica presa profonda distante circa 1300 m dalla centrale; in tal modo è possibile aspirare acqua più fredda ed evitare i fenomeni di ricircolo termico, senza peraltro dover modificare le esistenti opere di scarico. La presenza delle nuove opere portuali, naturalmente, comporta una modifica della dislocazione e della forma del pennacchio termico, che potrebbe inoltre interferire sia con lo scarico che con la presa della Centrale di Torrevaldaliga Nord, situati a circa 7/800 metri dagli scarichi di Torrevaldaliga Sud.

A tale proposito, il gruppo di analisi degli scarichi ha già realizzato quattro diversi studi.

Il primo studio, condotto nel corso del 1999[1], aveva lo scopo di determinare l'impatto del progetto sulla dispersione a mare della centrale di Torrevaldaliga Sud, nella configurazione progettuale allora prevista.

Il secondo studio, condotto nel corso del 2000[2], aveva lo scopo di determinare le conseguenze di alcune modifiche non secondarie apportate al progetto rispetto alla versione precedentemente studiata ed in particolare:

- la presenza di un molo di sottoflutto che, oltre a ridurre l'ampiezza della bocca di ingresso alla darsena, di fatto si colloca a ridosso dell'opera di presa di Torrevaldaliga Nord ed a soli 300 m dall'opera di scarico corrispondente;
- lo spostamento della banchina polifunzionale di riva a ridosso delle opere di scarico di Torrevaldaliga Sud e conseguente riempimento di una porzione di darsena prima disponibile allo scarico;
- lo spostamento laterale della nuova opera di presa e la presenza di una scogliera di protezione del molo di sopraflutto in corrispondenza dell'opera di presa;
- la modifica parziale della profondità e posizione dei dragaggi.

Nel terzo studio, effettuato nel 2001[3,4], si è tenuto conto sia delle modifiche di esercizio della centrale di Torrevaldaliga Nord che di una nuova ipotesi progettuale comprendente l'interrimento di una zona di mare adiacente lo scarico e la costruzione di una banchina carbone inglobante il precedente molo di sottoflutto e di una banchina gessi laterale a questa, con conseguenti modifiche al dragaggio di una parte della darsena ed il restringimento della bocca della stessa. In particolare, l'ultima ipotesi progettuale del tipo sopra descritto era caratterizzata dai seguenti aspetti:

- modifiche apportate alla configurazione progettuale delle nuove banchine carbone e gessi, con arretramento di quest'ultima e la realizzazione di un piccolo porticciolo a ridosso della stessa
- progettata trasformazione della centrale di Torrevaldaliga Sud, con un nuovo assetto dei gruppi costituito da 3 gruppi a ciclo combinato ed un quarto gruppo a gasolio di riserva;
- migliorie apportate ai gruppi di Torrevaldaliga Nord tali da aumentarne del 10% il rendimento con la conseguente riduzione del calore ceduto alle acque di raffreddamento.

L'insieme dei risultati ottenuti dai precedenti studi ha posto in evidenza due aspetti importanti dal punto di vista della diffusione termica in mare delle acque di raffreddamento:

1. lo scarico della centrale di Torrevaldaliga Nord non è in generale interessato dallo scarico di Torrevaldaliga Sud in modo critico;
2. si ha in generale un forte riscaldamento della darsena a causa degli scarichi di Torrevaldaliga Sud.

Per studiare possibili soluzioni alternative tali da limitare il riscaldamento in darsena, consentire la presenza delle nuove banchine Enel e mantenere una buona efficienza di scarico, è stato poi effettuato nel corso del 2002 un ulteriore studio [5] in cui veniva modificato in maniera sostanziale l'assetto del molo di sopraflutto, spostando sia le prese di una o di entrambe le centrali sia lo scarico di Torrevaldaliga Sud, orientando anche diversamente la bocca di darsena. Tale studio ha effettivamente mostrato valide soluzioni alternative, ma le modifiche progettuali necessarie sono risultate inapplicabili allo stato attuale di approvazione del progetto ufficiale.

1.3 Oggetto dello studio

L'insieme delle considerazioni portate avanti nei precedenti studi, e la necessità di mantenere anche in darsena un livello di temperatura il più possibile inalterato ha suggerito di

apportare una ulteriore versione progettuale che, partendo dal progetto definitivo già consolidato, prevede le seguenti modifiche:

- spostamento dello scarico di Torrevaldaliga Sud all'esterno del molo di sopraflutto, a circa 200 m di distanza dall'estremità del molo stesso;
- presenza delle nuove banchine Enel

come evidenziato nel disegno riportante la configurazione progettuale definita nel Luglio 2002[10].

Tale soluzione, però, può comportare, almeno in linea teorica, la possibilità di ricircolo termico tra il nuovo scarico e la nuova presa di Torrevaldaliga Sud, posizionata anch'essa nel progetto standard all'esterno del molo di sopraflutto a circa 600 m dal nuovo scarico. Di conseguenza, è stata anche valutata la possibilità di portare la nuova presa di Torrevaldaliga Sud all'interno della darsena alla radice della banchina polifunzionale di riva, come già ipotizzato in uno dei precedenti studi.

In tale situazione, dal punto di vista della dispersione termica a mare della centrale di Torrevaldaliga Nord, la nuova banchina Enel tende a separare nettamente le opere di scarico e di presa della centrale dal resto del porto, ma dall'altro potrebbe in determinate condizioni ambientali favorire il ristagno del pennacchio caldo nella zona di presa, determinando possibili condizioni di ricircolo termico, mentre dal punto di vista della dispersione termica a mare della centrale di Torrevaldaliga Sud verrebbe risolto il problema del riscaldamento della darsena.

Oggetto del presente studio è quindi quello di studiare tale soluzione dal punto di vista del rispetto dei limiti termici e del possibile ricircolo termico, nel futuro assetto di esercizio dei gruppi e tenendo conto dei risultati dei precedenti studi per quanto riguarda le condizioni meteomarine più critiche. Pertanto lo studio è stato condotto nelle condizioni meteomarine e di ventosità ritenute più a rischio secondo quanto emerso negli studi precedenti, tenendo presente le peculiarità delle nuove opere, e con i seguenti obbiettivi:

- determinare la nuova configurazione, estensione e profondità del campo termico determinato dagli scarichi di Torrevaldaliga Sud e Nord per i diversi scenari ipotizzati, con particolare attenzione al rispetto della normativa ambientale vigente [6,7];
- la possibile interferenza con la presa di Torrevaldaliga Nord per valutare l'instaurarsi di eventuali condizioni di ricircolo termico, in particolare causate dalla presenza delle nuove opere previste
- la possibile presenza di ricircolo termico alla presa di Torrevaldaliga Sud nelle condizioni di scarico più sfavorevoli.

Poiché la nuova opera di presa di Torrevaldaliga Sud viene valutata sia nella posizione all'esterno del molo di sopraflutto che all'interno della darsena, sono stati definiti due distinti scenari, denominati rispettivamente A e B, per ciascuno dei quali sono state individuate due situazioni critiche dal punto di vista ambientale. Sono stati quindi presi in considerazione i seguenti casi:

- A1: Opera di presa collocata all'esterno del molo di sopraflutto, con corrente diretta verso SE e vento proveniente da NW. Questa situazione tende a spingere il pennacchio caldo di Torrevaldaliga Sud verso la presa lungo il molo stesso, potendo quindi innescare una situazione di potenziale ricircolo termico;
- A2: Opera di presa collocata all'esterno del molo di sopraflutto, con corrente diretta verso SE e vento proveniente da SW. Questa situazione tende a mantenere il pennacchio caldo di Torrevaldaliga Sud in prossimità del molo stesso, con una minore dispersione termica e potendo quindi anche in questo caso innescare una situazione di potenziale ricircolo termico;

- B1: Opera di presa collocata all'interno della darsena, con corrente diretta verso NW e vento proveniente da NW. Questa situazione tende a spingere il pennacchio caldo di Torrevaldaliga Sud verso la bocca di darsena, dove unitamente al pennacchio di Torrevaldaliga Nord potrebbe imboccare la darsena ed innescare una situazione di potenziale ricircolo termico verso la presa di Torrevaldaliga Sud;
- B2: Opera di presa collocata all'interno della darsena, con corrente diretta verso SE e calma di vento. Questa situazione favorisce il ristagno dei pennacchi ed il possibile riscaldamento anche in darsena, con una situazione di potenziale ricircolo termico verso la presa di Torrevaldaliga Sud.

Lo studio è stato condotto sempre con il codice tridimensionale idrostatico TRIMDI[8], usualmente impiegato per tali analisi sia in ambito ENEL che per conto di terzi. Poiché però gli studi precedenti hanno già consentito di porre in evidenza quali sono le condizioni meteomarine più limitanti, lo studio è stato condotto facendo riferimento specificatamente a tali condizioni.

1.4 Documenti di riferimento

- 1 G. Agate, R. Guandalini – *Centrale di Torrevaldaliga Sud. Studio della Dispersione in Mare delle Acque di Raffreddamento Comprendente la Prevista Realizzazione nel porto di Civitavecchia della Nuova Darsena Energetica e Grandi Masse* – Rapporto ENEL SRI-PIS 5804 (Giugno 1999)
- 2 G. Agate, R. Guandalini – *Studio della Dispersione in Mare delle Acque di Raffreddamento delle Centrali di Torrevaldaliga Nord e Torrevaldaliga Sud in Riferimento al Progetto Definitivo della Darsena Grandi Masse nel Porto di Civitavecchia* – Rapporto ENEL SRI-PIS 6044 (Novembre 2000)
- 3 G. Agate, R. Guandalini – *Studio della Dispersione in Mare delle Acque di Raffreddamento delle Centrali di Torrevaldaliga Nord e Torrevaldaliga Sud in Riferimento al Nuovo Assetto Ipotizzato per la Centrale di Torrevaldaliga Nord* – Rapporto Enel.Hydro/PIS 6183 (Marzo 2001)
- 4 G. Agate, R. Guandalini, F. Polidoro – *Studio della Dispersione in Mare delle Acque di Raffreddamento della Centrale di Torrevaldaliga Nord con Riferimento al Nuovo Assetto dei Gruppi di Torrevaldaliga Sud ed alla Rilocalizzazione delle Nuove Opere* – Rapporto Enel.Hydro/PIS 6360 (Gennaio 2002)
- 5 G. Agate, R. Guandalini – *Dispersione in Mare delle Acque di Raffreddamento delle Centrali di Torrevaldaliga Nord e Sud nell'Ipotesi di una Nuova Modifica Progettuale della Darsena* – Rapporto CESI A2/021214-0 (Luglio 2002)
- 6 Testo Unico sulle Acque. D.L. 11 maggio 1999 n. 152
- 7 Notiziario IRSA – *Metodi analitici per le acque: Metodologie per la determinazione dell'incremento di temperatura nelle acque marine a seguito di sversamenti di scarichi termici* – n. 4, Ottobre - Dicembre 1993
- 8 AA.VV. – *Codice di calcolo TRIMDI. Manuale di Utenza.*– Relazione ENEL/CRIS 3109 (Aprile 1993). Revisione 1996
- 9 MODIMAR – *Porto di Civitavecchia. Darsena Energetica e grandi Masse. Progetto definitivo delle Opere Marittime. Opere di Restituzione della Centrale Elettrica di Torrevaldaliga Sud. Planimetria di Progetto.* – Disegna scala 1:4000 Elaborato E1 (Ottobre 2001)
- 10 Enel Produzione. Sviluppo Impianti – *C.le Termoelettrica di Torrevaldaliga Nord. Progetto di Conversione a Carbone. Planimetria Generale con Disposizione Nuove Apparecchiature e Darsena Energetica Grandi Masse* – Disegno NCO-P-xxx Rev. 0 Scala 1:5000 (Luglio 2002)

- 11 V. Bogani, A. Di Monaco, G. Dinelli, A. Leoncini - *Analisi Termo-Idrodinamica della Dispersione di Inquinanti in Corpi Idrici Complessi: Applicazione alla Foce del Tevere* - ENEL, Rassegna Tecnica n.3, 1983.
- 12 E. Ghisolfi, M. Miserocchi, P. Molinaro - *Validation of a mathematical model for the simulation of the thermal impact of ENEL power plants on natural water bodies* - Int. Conf. "HYDROSOFT '90" 3-5 APRILE 1990, Lowell, U.S.A. Relazione ENEL-DSR-CRIS 3872
- 13 A. Di Monaco, P. Molinaro - *Verification of a computational code for the simulation in 3-D of thermal discharges against field and laboratory data* - XXIV Congress IAHR, Madrid (Spagna), 9-13 Settembre 1991 - Relazione ENEL-DSR-CRIS 4126 Gennaio 1991
- 14 S.V. Patankar, D.B. Spalding - *A calculation procedure for heat, mass and momentum transfer in three-dimensional parabolic flows* - Imperial College of Science and Technology, BL, TN/A/45, June 1971.
- 15 Autorità Portuale di Civitavecchia. Compagnia Porto di Civitavecchia Spa – *Porto di Civitavecchia. Darsena Grandi Masse. Progetto Definitivo. Studio Meteomarino.* – Elaborato R3 (Marzo 2000)
- 16 *Litorale di Civitavecchia* - Carta Nautica I.I.M. n. 913, scala 1:30000 (1984)
- 17 Autorità Portuale di Civitavecchia. Compagnia Porto di Civitavecchia Spa – *Porto di Civitavecchia. Darsena Grandi Masse. Progetto Definitivo .Planimetria Generale ad Opera Finita* – Elaborato 5 Scala 1:4000 (Marzo 2000)

2 SIMULAZIONE NUMERICA DELLA DISPERSIONE TERMICA

2.1 Premessa

Il presente capitolo ha lo scopo di dettagliare le condizioni di analisi e lo schema di calcolo adottati per la valutazione della dispersione termica, considerando il progetto definitivo della darsena energetica e grandi masse, la rilocalizzazione delle nuove opere per Torrevaldaliga Nord ed il nuovo assetto di esercizio delle centrali.

Come già detto nel capitolo introduttivo, il presente studio si basa sull'esperienza ricavata dagli studi precedenti riferiti a diversi stadi di sviluppo del progetto; poiché però la versione del progetto considerata nel presente studio è da considerarsi ormai stabilizzata, nel presente capitolo verranno riportate tutte le considerazioni utilizzate per l'analisi, anche se non modificate rispetto ai precedenti studi, allo scopo di fornire un documento completo ad autoconsistente.

2.2 Cenni sulle caratteristiche del codice TRIMDI

Nel seguito si riassumono la teoria e i procedimenti numerici che sono alla base del codice di calcolo TRIMDI, sorvolando per brevità su tutti i dettagli matematici per i quali si rimanda a [11]. Il codice TRIMDI è adatto per simulare la dispersione del calore (o di inquinanti non reagenti) all'interno di corpi d'acqua a superficie libera (fiumi, laghi, mare).

Le ipotesi di base del modello sono le seguenti:

- a) Si assume che tutti gli scarichi e le opere di presa immettano o prelevino acqua con quantità di moto prevalentemente orizzontale, in modo che la componente verticale della forza d'inerzia risulti sempre trascurabile rispetto alla forza di gravità. Ciò ha come conseguenza che la distribuzione della pressione in direzione verticale segue la legge idrostatica;
- b) La variazione della densità dell'acqua, con la temperatura, è considerata solo nell'equazione del moto in direzione verticale (ipotesi di Boussinesq); ciò è sufficiente per la modellazione dei gradienti di pressione che danno origine alle forze di galleggiamento e quindi alle stratificazioni.

La componente verticale della velocità non è trascurata, sebbene sia supposta essere piccola rispetto a quelle orizzontali. Questo permette la simulazione della circolazione verticale dovuta al trascinamento orizzontale o ai gradienti di densità.

Le equazioni rappresentative del modello sono:

- ◆ l'equazione di bilancio della massa per fluidi incompressibili:

$$\bar{\nabla} \cdot \bar{u} = 0$$

in cui si è indicato con $\bar{u}$ il vettore velocità e con $\bar{\nabla}$ l'operatore divergenza;

- ◆ l'equazione di bilancio della quantità di moto, scritta in forma vettoriale e mediata nei riguardi delle fluttuazioni turbolente:

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \bar{u} \cdot \bar{\nabla} \bar{u} = -\frac{1}{\rho_0} \bar{\nabla} p + \frac{1}{\rho_0} \bar{\nabla} \cdot \bar{\tau} + \frac{\rho}{\rho_0} \bar{g}$$

dove $\bar{\tau}$ è il tensore degli sforzi di Reynolds, ρ_0 la densità dell'acqua e p la pressione;

- ♦ per le ipotesi citate l'equazione di bilancio della quantità di moto nella direzione verticale z si riduce all'equazione dell'equilibrio idrostatico:

$$\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\rho}{\rho_0} g = 0$$

- ♦ l'equazione di bilancio della quantità di calore (o di una qualunque altra sostanza disciolta).

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \bar{u} \cdot \bar{\nabla} T = - \frac{1}{\rho_0 c_p} \bar{\nabla} \cdot \bar{\phi}$$

in cui si è indicata con $\bar{\phi}$ il vettore dei flussi turbolenti, con C_p il calore specifico a pressione costante e T è la temperature dell'acqua.

Gli sforzi di Reynolds che compaiono nelle equazioni della quantità di moto orizzontale vengono modellati con l'introduzione di termini viscosi turbolenti; in modo analogo vengono trattati i flussi di calore legati all'agitazione turbolenta che compaiono nell'equazione di bilancio termico.

$$\tau_{ij} = \rho_0 \nu_e \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad ; \quad \phi_i = \rho_0 c_p \alpha_e \frac{\partial T}{\partial x_i}$$

dove ν_e è la viscosità efficace (molecolare + turbolenta) e α_e la diffusività efficace.

Un semplice modello di turbolenza, del quale si parlerà in seguito, lega la viscosità e la diffusività turbolenta alla velocità locale. Viene inoltre introdotta l'equazione di stato del fluido che fa dipendere la densità dalla temperatura o dalla concentrazione della sostanza disciolta; questo consente di riprodurre i gradienti di densità caratteristici dei moti stratificati.

Le condizioni al contorno, tra cui quella sulla superficie libera rappresentata dalla ben nota condizione cinematica, completano la formulazione matematica. La condizione sulla superficie libera è così descritta:

$$w = \frac{\partial \zeta}{\partial t} + u \frac{\partial \zeta}{\partial x} + v \frac{\partial \zeta}{\partial y}$$

in cui u , v e w sono le tre componenti del vettore $\bar{u}$ e ζ è l'elevazione della superficie libera.

Per la trattazione numerica delle equazioni, si suddivide la regione di interesse in strati orizzontali mediante piani paralleli al piano x, y . Tutti gli strati hanno spessore costante, indipendente da x, y e dal tempo t , con esclusione dello strato superficiale, che è delimitato superiormente dalla superficie libera. Una prima discretizzazione si ottiene integrando le equazioni di base sull'altezza dei singoli strati e sostituendo, alle variabili in esse contenute, i loro valori medi su tale altezza. Se dunque L è il numero degli strati, le incognite del sistema, funzioni di x, y e t sono u_k, v_k, w_k (componenti della velocità), T_k (temperatura), p_k (pressione), per $k=1, \dots, L$ e la funzione $\zeta(x, y, t)$ quota della superficie libera. Le variabili ausiliarie ρ (densità), ν (viscosità turbolenta) e α (diffusività turbolenta) si ottengono poi direttamente dalle variabili principali. Per la

soluzione numerica delle equazioni viene adottato uno schema alle differenze finite, che utilizza un sistema di tre griglie nel piano orizzontale sfalsate tra loro (staggered grid).

Il metodo di integrazione temporale è del tipo Crank-Nicolson implicito. La non linearità delle equazioni di base conduce ad un sistema di equazioni algebriche non lineari, la cui soluzione rende necessario il ricorso ad un ciclo iterativo interno ad ogni passo temporale. In particolare, quello adottato nel TRIMDI è una estensione del ben noto metodo SIMPLE.

Il modello di turbolenza si basa sul concetto di lunghezza di mescolamento che viene correlata con il passo spaziale locale del reticolo. I valori locali della viscosità e della diffusività, definiti dal modello di turbolenza, vengono poi ridotti in base al grado di stratificazione, misurato dal numero di Richardson locale, utilizzando le note relazioni semiempiriche.

Un ulteriore meccanismo riprodotto dal modello è lo scambio di calore con l'atmosfera attraverso la superficie libera dell'acqua. Questo fenomeno viene rappresentato, in forma linearizzata, per mezzo di un coefficiente di scambio il cui valore è stato oggetto di indagini sia teoriche che sperimentali. Maggiori dettagli sui diversi aspetti del modello numerico accennati in precedenza possono essere tratti da [12,13,14].

2.3 Condizioni influenzanti la dispersione termica

Lo scarico da parte di centrali termoelettriche dell'acqua calda proveniente dai circuiti di raffreddamento mediante scarichi a cielo aperto in corrispondenza della linea di costa è tipicamente condizionato dalle condizioni meteomarine del sito, dalle condizioni di esercizio degli impianti e dalle opere a mare presenti nella zona di scarico.

Pertanto, poiché uno dei requisiti per la realizzazione dello studio è la simulazione numerica di un certo numero di casi atti a rispondere agli scopi dello studio stesso, è necessario individuare, attraverso la raccolta e l'analisi dei dati caratteristici del sito e degli impianti, le condizioni di simulazione più adatte allo scopo.

La raccolta e l'analisi dei dati pertanto fa riferimento alle seguenti tipologie:

- Dati geometrici di impianto, relativi soprattutto alle opere di scarico e di presa;
- Dati relativi alla configurazione costiera e alla batimetria della zona antistante l'impianto;
- Dati marini relativi a temperature, correnti, maree;
- Dati meteorologici relativi a direzione ed intensità del vento;
- Dati di esercizio della centrale, quali potenza, modalità di esercizio e portata di scarico dei circuiti di raffreddamento.

Naturalmente è stato tenuto in conto quanto già contenuto nei precedenti studi e nel documento relativo allo studio meteomarino condotto nell'ambito del progetto definitivo della nuova darsena [15].

2.4 Caratteristiche del progetto per la nuova darsena grandi masse

La nuova darsena energetica e grandi masse del Porto di Civitavecchia si configura come l'estensione dell'attuale porto verso Nord in corrispondenza della località costiera di Torrevaldaliga, nel tratto di costa illustrato in fig. 2.1, tratta da [16].

La definizione delle nuove opere portuali, naturalmente, ha subito nel corso del progetto una serie di modifiche e di arrangiamenti allo scopo di meglio adeguare le finalità dell'opera con le diverse esigenze, legate anche alla presenza nella medesima località delle centrali di Torrevaldaliga

Sud e di Torrevaldaliga Nord. In particolare, la planimetria ad opera finita del progetto definitivo include una serie di modifiche non secondarie apportate al progetto iniziale ed in particolare:

- la presenza di un molo di sottoflutto che, oltre a ridurre l'ampiezza della bocca di ingresso alla darsena, di fatto si colloca a ridosso dell'opera di presa di Torrevaldaliga Nord ed a soli 300 m dall'opera di scarico corrispondente;
- lo spostamento della banchina polifunzionale di riva a ridosso delle opere di scarico di Torrevaldaliga Sud e conseguente interrimento di una porzione di darsena prima disponibile allo scarico;
- la modifica parziale della profondità e posizione dei dragaggi

che hanno portato alla planimetria della nuova darsena e della zona antistante la centrale di fig. 2.2 aggiornata a Marzo 2000[17], in cui è evidente la modifica delle condizioni di scarico conseguente a tale opera rispetto alla configurazione attuale delle opere di scarico e presa della centrale di Torrevaldaliga Sud mostrata in fig. 2.3.

Il presente studio, però, considera, rispetto alle condizioni di progetto sopra definite, due varianti fondamentali:

1. la presenza delle nuove banchine Enel per Torrevaldaliga Nord, che di fatto inglobano il molo di sottoflutto e modifica la configurazione del tratto di litorale in prossimità dell'opera di scarico della centrale, con la costruzione di un piccolo porto di servizio Enel
2. la collocazione dello scarico di Torrevaldaliga Sud all'esterno del molo di sopraflutto, mediante una tubazione interrata che attraversa la darsena ed una bocca di scarico sommersa.

Il progetto con la posizione delle nuove opere portuali e delle banchine Enel cui il presente studio fa riferimento è mostrato in fig. 2.4 e riporta fedelmente lo schema progettuale fornito dal Committente[9,10].

L'analisi degli studi precedentemente condotti, tuttavia, mostra anche la possibilità di collocare una nuova opera di presa entro la darsena, all'inizio della banchina polifunzionale di riva, anziché all'esterno come previsto dal progetto; tale soluzione presenta due vantaggi:

1. diminuisce le perdite di carico causate dalla lunga canalizzazione della presa nel corpo della banchina
2. disaccoppia la presa dal nuovo scarico, ora anch'esso all'esterno della darsena e distante circa 600 m dal punto di presa previsto dal progetto, evitando in tal modo possibili situazioni di ricircolo.

Pertanto, allo scopo di valutare l'efficacia di una simile ipotesi, è stata considerata nel presente studio anche tale configurazione, ipotizzando una presa di opportune dimensioni collocata all'interno della darsena stessa.

2.5 Caratteristiche delle opere di scarico e presa

La Centrale Termoelettrica di Torrevaldaliga Sud, di proprietà di Interpower S.p.A., è ubicata a Nord dell'attuale porto di Civitavecchia in località Torrevaldaliga (con riferimento alla fig. 2.1) e nel vecchio assetto di esercizio era composta da tre gruppi da 320 MW e da un gruppo da 180 MW non più in esercizio, scaricando le acque di raffreddamento in vicinanza dell'attuale porto di Civitavecchia mediante due diffusori a pelo libero, il primo afferente ai gruppi 1 e 2 ed il secondo

ai gruppi 3 e 4 e prelevandole a monte mediante due opere di presa sommerse distanti circa 150 m dalla riva (fig. 2.3).

Il nuovo assetto cui si fa riferimento nel presente studio comprende 3 gruppi a ciclo combinato con 3 sezioni, due delle quali a gas con potenza turbina pari a 250 MW ed una a vapore con potenza turbina di 130 MW. Per il prelevamento delle acque di raffreddamento è previsto lo spostamento delle opere di presa all'esterno del molo di sopraflutto con la realizzazione di una nuova presa sommersa direttamente nel corpo del molo stesso ed una canalizzazione verso la centrale inglobata nei cassoni costituenti la banchina polifunzionale di riva, come indicato in fig. 2.4. Lo scarico di tale acque, poi, viene portato anch'esso al di fuori della darsena in corrispondenza al lato esterno del molo di sopraflutto, ad una distanza di circa 600 m dalla nuova presa, come indicato in fig. 2.5.

La Centrale Termoelettrica di Torrevaldaliga Nord è composta da quattro gruppi da 660 MW ed è ubicata a circa 7/800 m a Nord della Centrale di Torrevaldaliga Sud, preleva l'acqua di raffreddamento da un'opera di presa sommersa, realizzata mediante un torrino ancorato al fondo a circa 400 m dalla riva, e scarica direttamente in mare mediante un solo diffusore a pelo libero.

Pur non essendo tali opere interessate direttamente dalla costruenda darsena, a differenza della centrale di Torrevaldaliga Sud, la vicinanza di questa alle opere di scarico e presa determina una modifica sostanziale della circolazione idrodinamica nella zona di mare interessata, potendo influire quindi sulle condizioni di rispetto dei limiti termici di legge, ed inoltre lo spostamento dello scarico di Torrevaldaliga Sud potrebbe portare ad interazioni tra i pennacchi stessi o portare, in particolari condizioni, fenomeni di ricircolo addebitabili anche agli scarichi di Torrevaldaliga Sud.

2.5.1 Caratteristiche della nuova opera di scarico di Torrevaldaliga Sud

La nuova opera di scarico progettata per Torrevaldaliga Sud è caratterizzata da tre sezioni:

- una sezione di raccordo con gli scarichi preesistenti, che porta ad una vasca di raccolta dotata di paratoia e pompe booster per garantire uno scarico ottimale in ogni condizione (fig. 2.6)
- una sezione comprendente le condotte a mare, in pressione, tra la vasca di raccolta e l'opera di scarico a mare, collocate al di sotto del fondale della darsena, costituite da quattro tubi di 2.5 m di diametro (fig. 2.7)
- l'opera di scarico, inglobata nel molo di sopraflutto e realizzata in apposito cassone, formata da 4 bocche quadrate di dimensione 3.92 x 6.01 m raccordate con la tubatura di adduzione circolare di 2.5 m di diametro, poste ad una profondità tra -4.69 m e -10.7 m (fig. 2.8).

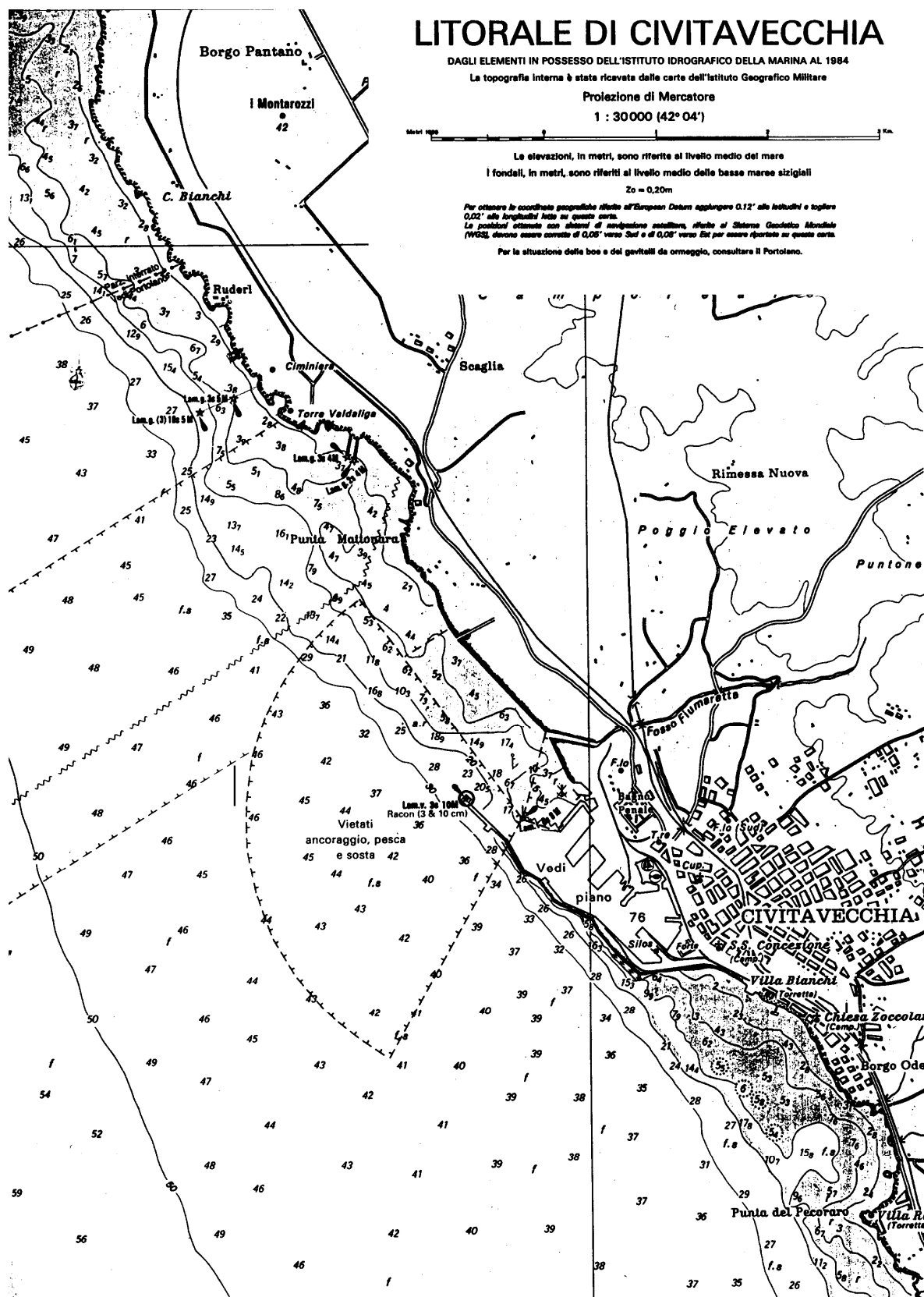
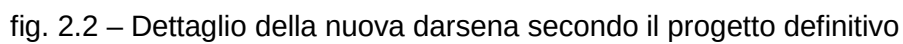


fig. 2.1 - Planimetria generale del litorale di Civitavecchia.



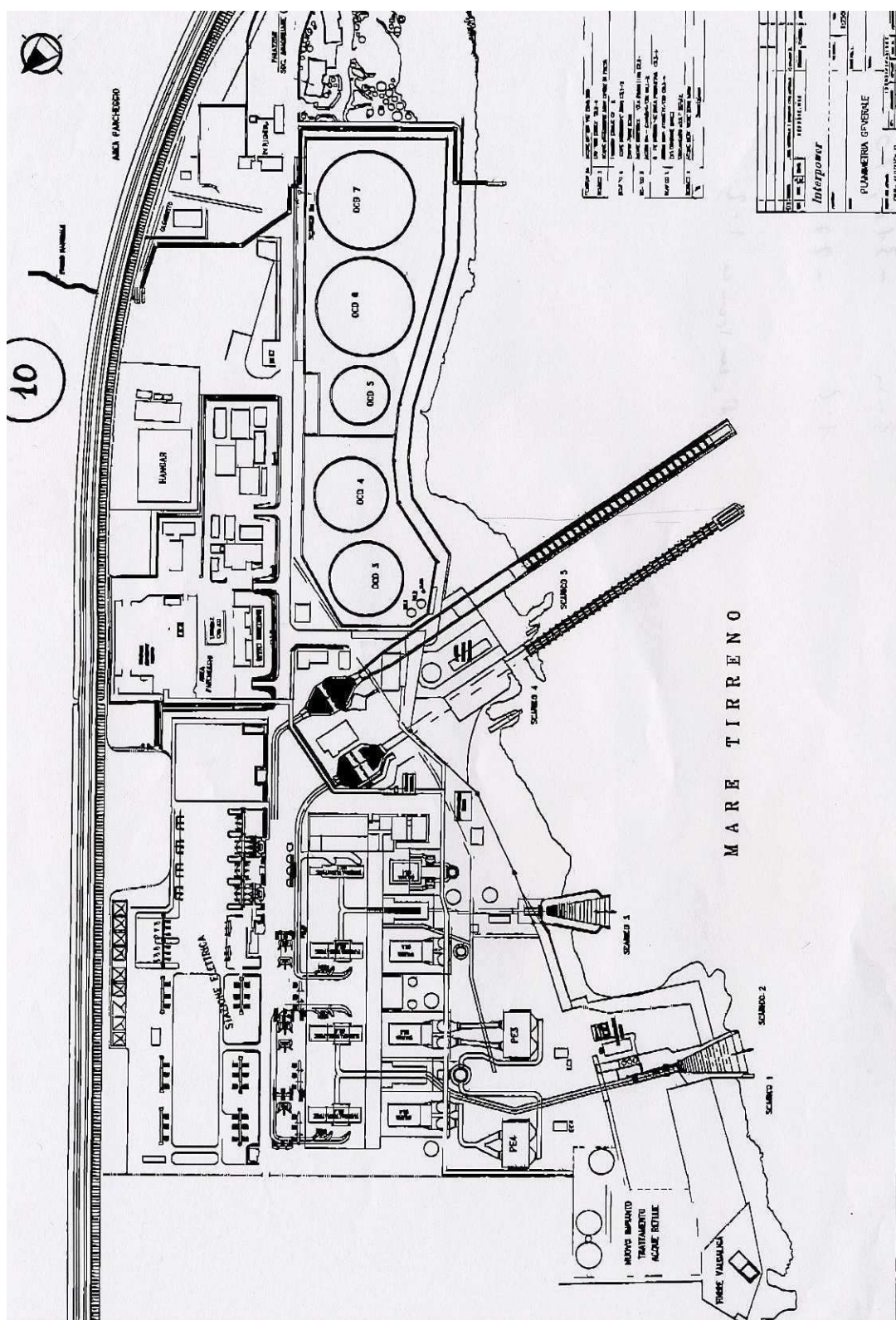


fig. 2.3 – Configurazione attuale delle opere di scarico e presa della centrale di Torrevadalis Sud

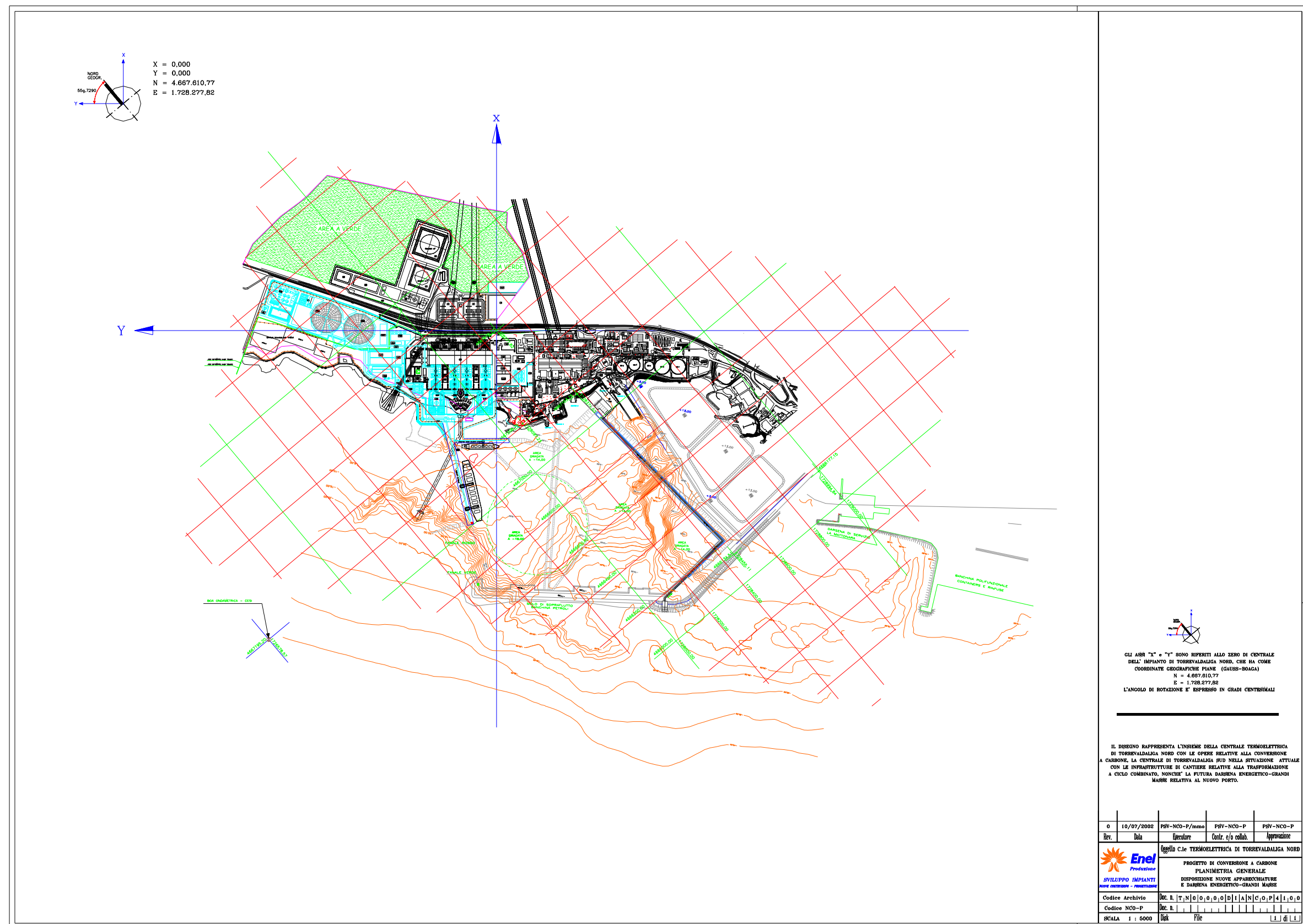


fig. 2.4 - Collocazione delle opere di scarico e presa secondo il progetto attuale

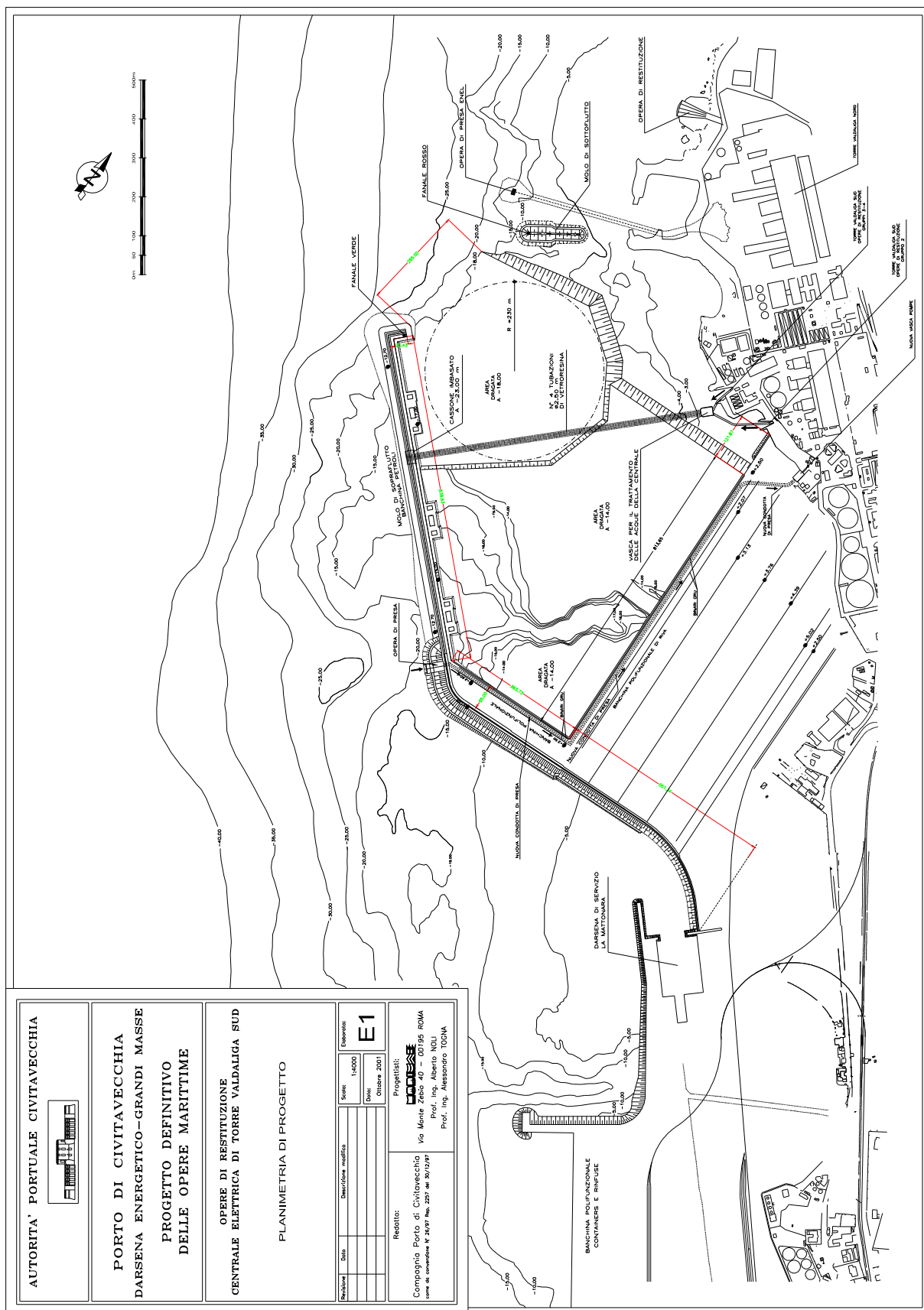


fig. 2.5 – Schema delle nuove opere di scarico e presa di Torrevaldaliga Sud

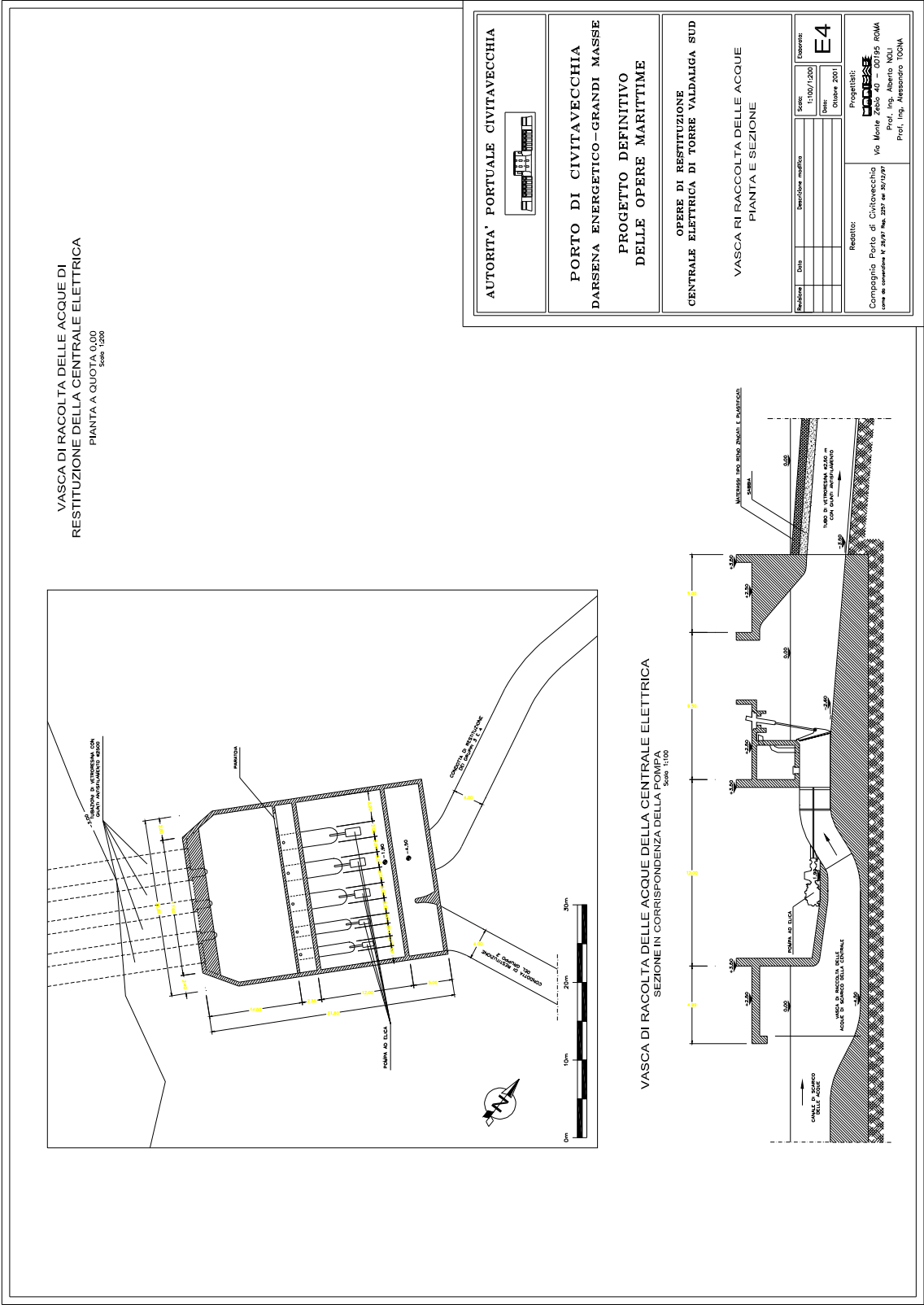


fig. 2.6 - Vasca di raccolta per lo scarico di Torrevaldaliga Sud

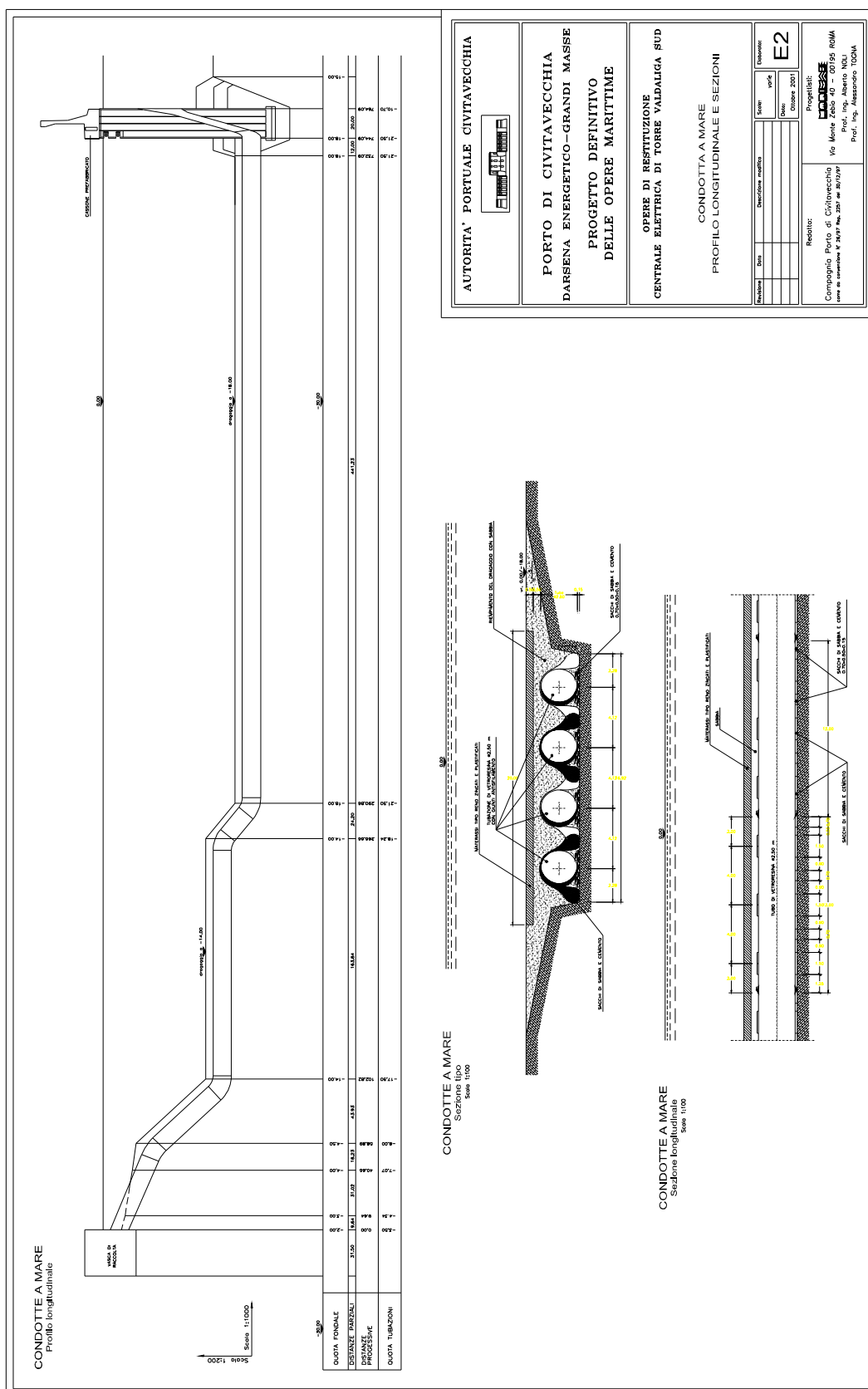


fig. 2.7 - Condotte a mare per lo scarico di Torrevaldaliga Sud

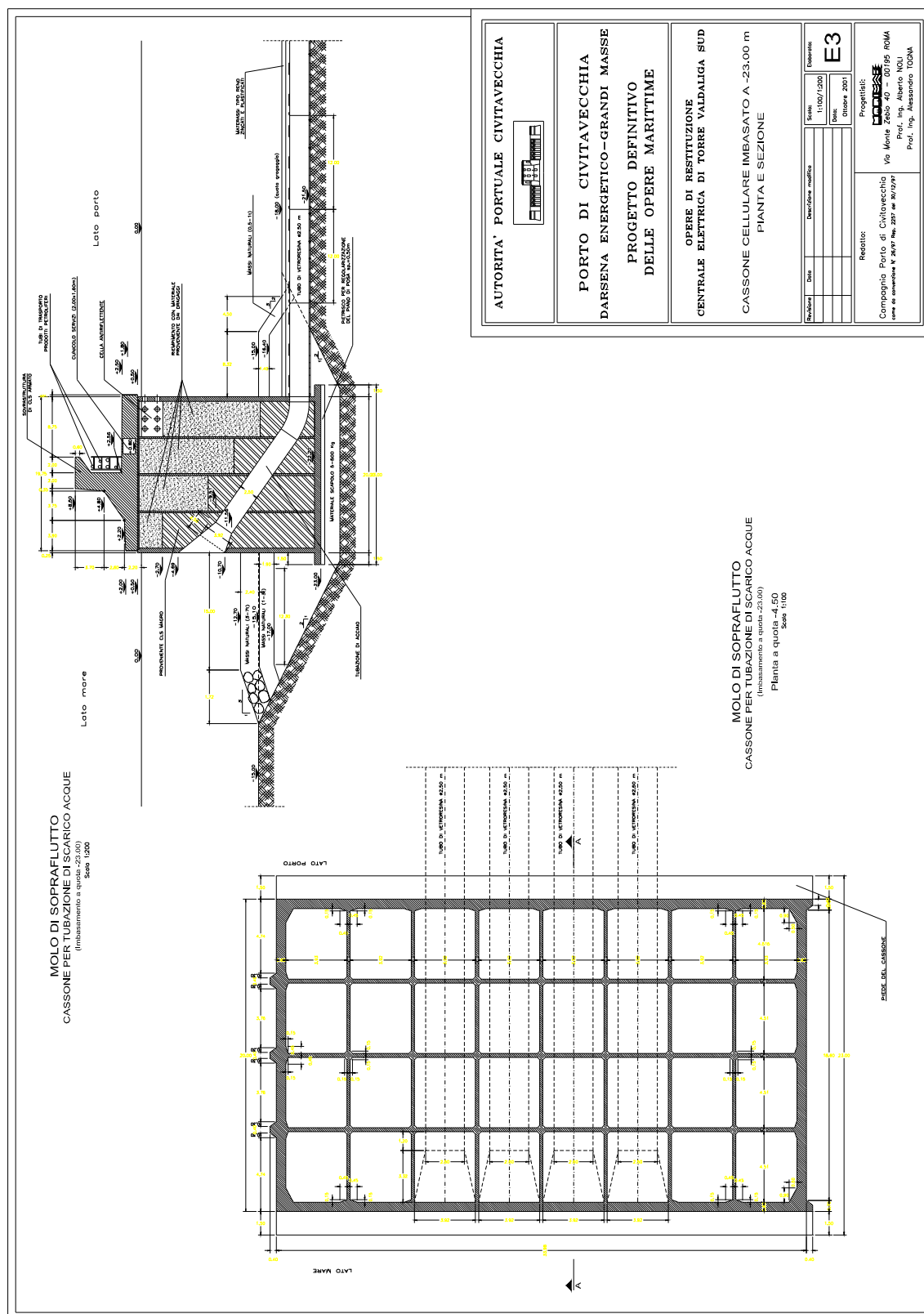


fig. 2.8 – Opera a mare per lo scarico di Torrevaldaliga Sud

Ai fini della simulazione numerica, interessa l'opera di scarico terminale, le cui caratteristiche geometriche sono riportate in tab. 2.1.

tab. 2.1 - Dati caratteristici della nuova opera di scarico di Torrevaldaliga Sud

<i>Caratteristica</i>	<i>Valore</i>	<i>u.d.m.</i>
Numero di sezioni di efflusso	4	==
Larghezza di ciascuna sezione	3.92	m
Altezza di ciascuna sezione	6.01	m
Area di scarico di ciascuna sezione	23.56	m ²
Profondità	-4.69÷-10.7	m
Inclinazione dell'asse di scarico	30	°
Area efficace di scarico (ortogonale all'asse)	15.3664	m ²

2.5.2 Caratteristiche della nuova opera di presa di Torrevaldaliga Sud

In presenza della nuova darsena, come si può notare dalla fig. 2.4, le acque di raffreddamento, confluenti poi nel nuovo scarico descritto al precedente paragrafo, vengono prelevate dal mare mediante una nuova opera di presa la cui ubicazione è prevista all'esterno della darsena in corrispondenza del raccordo tra il molo di sopraflutto e la banchina polifunzionale. Sulla base delle informazioni di progetto tale presa è posta ad una profondità maggiore e quindi preleva acqua più fredda rispetto alla presa attuale, compensando in tale modo le maggiori perdite di carico dovute alla aumentata distanza.

Più precisamente, la nuova opera di presa, illustrata in fig. 2.9, presenta le seguenti caratteristiche:

- la presa, di tipo sommerso, forma un corpo unico con il molo esterno della nuova darsena, è inclinata di circa 30° rispetto alla linea di costa ed è posta a circa 1300 m dalla Centrale;
- l'acqua che alimenta tutti i gruppi della Centrale di Torrevaldaliga Sud, viene aspirata ad una profondità media di 11 m;
- la posizione e la profondità della presa sono tali da far ragionevolmente supporre che essa non è assolutamente influenzata dalle condizioni di scarico in nessun caso, per cui eventuali modeste variazioni nella sua conformazione non alterano in alcun modo i risultati dello studio.

I dati caratteristici della nuova opera di presa che interessano lo studio sono riassunti in tab. 2.2.

tab. 2.2 – Dati caratteristici della nuova opera di presa

<i>Caratteristica</i>	<i>Valore fornito</i>	<i>Unità di misura</i>
Larghezza	20	m
Altezza	7	m
Sezione di presa	140	m ²
Quota media di aspirazione	-11	m

NUOVA OPERA DI PRESA

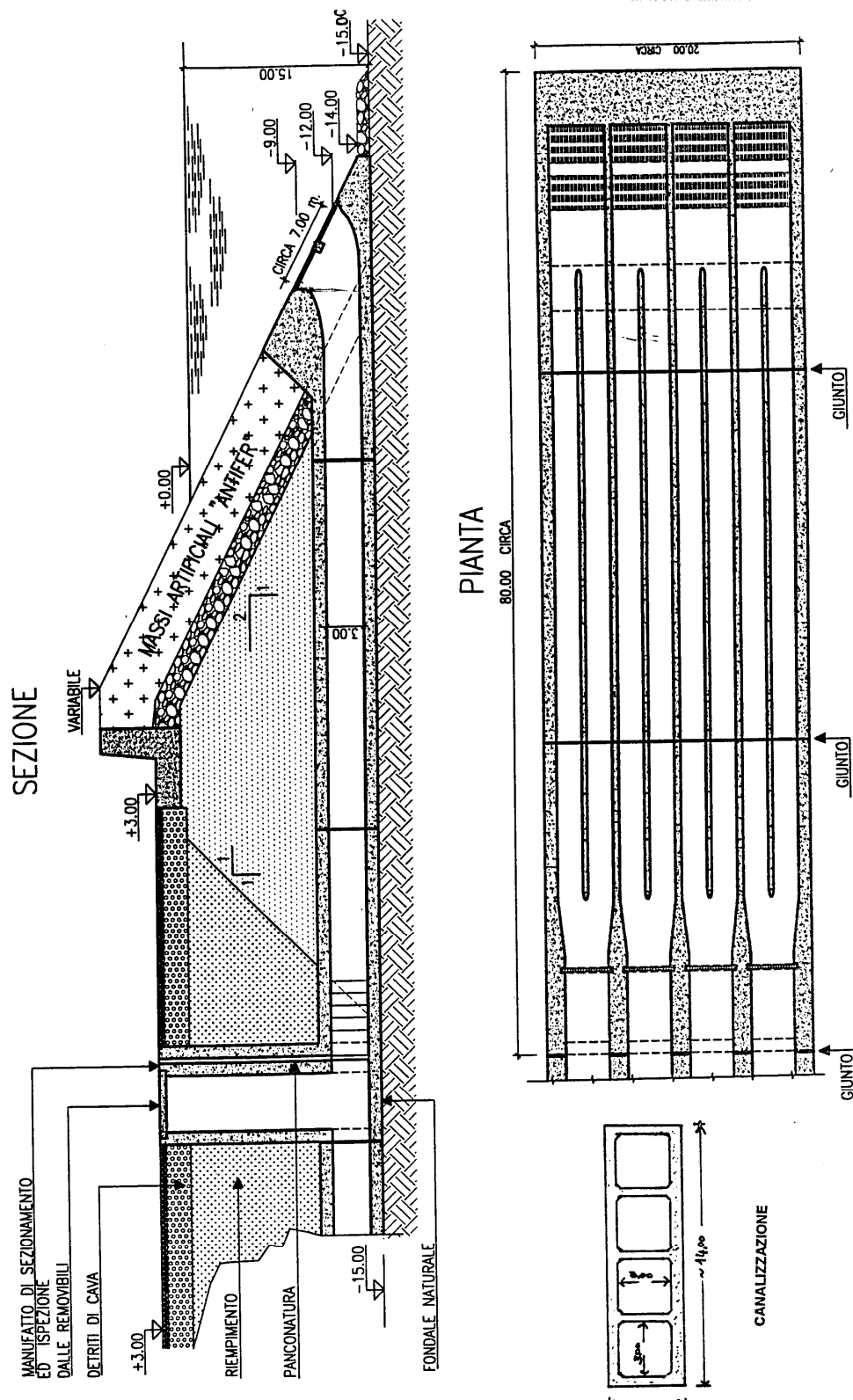


fig. 2.9 - Vista di dettaglio della nuova opera di presa TVS

Lo studio condotto, inoltre, prevede anche la possibilità di collocare una nuova opera di presa entro la darsena posta all'inizio della banchina polifunzionale di riva, anziché all'esterno come previsto dal progetto; è stata perciò definita una opera di presa alternativa, in linea di massima collocata alla radice della banchina polifunzionale di riva, di sezione efficace pari a 115.5 m^2 , in modo da garantire una velocità massima di aspirazione di 0.4 m/s , che pur essendo al limite superiore normalmente concesso per l'aspirazione in bacini chiusi è comunque accettabile.

I dati caratteristici relativi all'opera di presa interna alla darsena sopra ipotizzata sono riassunti in tab. 2.3; si noti come la profondità scelta garantisce il posizionamento in una zona lontana dalla zona di attracco delle navi, proprio all'inizio della banchina.

tab. 2.3 – Dati caratteristici dell'opera di presa ipotizzata entro la darsena

<i>Caratteristica</i>	<i>Valore</i>	<i>u.d.m.</i>
Larghezza	19.25	m
Altezza	6	m
Sezione di presa	115.5	m^2
Quota superiore di aspirazione	-4.5	m
Quota inferiore di aspirazione	-10.5	m
Quota media di aspirazione	-7.5	m

2.5.3 Caratteristiche delle opere di scarico e presa di Torrevaldaliga Nord

L'opera di scarico considerata nel presente studio, del tipo a diffusore superficiale, è localizzata a circa 500 m dall'imbocco della nuova darsena ed in essa confluiscono le acque di raffreddamento provenienti dai quattro gruppi. Tale opera, pur non essendo direttamente interessata dalla costruzione della darsena, è comunque collocata in modo da risentirne gli effetti, sia per quanto riguarda le condizioni di scarico che quelle di presa. Infatti le acque dello scarico sopra descritto vengono prelevate dal mare mediante una opera di presa sommersa a torino posta a circa 400 m dallo scarico, ma a ridosso del nuovo molo di sottoflutto, che potrebbe causare un rallentamento del pennacchio e quindi un suo affondamento, con possibile pericolo di ricircolo termico per la centrale.

I dati relativi alle caratteristiche geometriche dello scarico, illustrate in fig. 2.10, sono stati forniti direttamente dalla Centrale e sono riassunti in tab. 2.4.

tab. 2.4 - Dati caratteristici dello scarico di Torrevaldaliga Nord

<i>Caratteristica</i>	<i>Scarico TVN</i>	<i>Unità di misura</i>
Larghezza	43	m
Altezza	1.5	m
Sezione di scarico	64.5	m^2

Le acque dello scarico della centrale di Torrevaldaliga Nord vengono prelevate dal mare mediante un'opera di presa, le cui caratteristiche geometriche sono illustrate in fig. 2.11, che, sulla base delle informazioni fornite dalla centrale, ha le seguenti caratteristiche:

- la presa, di tipo sommerso, è costituita da un torrino di 40 m di lato, con quattro bocche di aspirazione disposte due a destra e due a sinistra parallelamente alla linea di costa ed è posta ad una distanza di circa 400 m dalla centrale
- da ciascuna bocca viene aspirata l'acqua che alimenta uno dei quattro gruppi della centrale di Torrevaldaliga Nord, ad una profondità media di circa 11 m.

Le caratteristiche principali dell'opera di presa TVN sono riportate nella successiva tab. 2.5.

tab. 2.5 – Dati caratteristici della presa TVN

<i>Caratteristica</i>	<i>Valore fornito</i>	<i>Unità di misura</i>
numero bocche	4	
Larghezza di ciascuna bocca	10	m
Altezza di ciascuna bocca	4.5	m
Sezione di ciascuna bocca	45	m ²
Quota di aspirazione	-8.5÷-13.0	m
Portata totale di aspirazione di ciascuna bocca	24.5	m ³ /s

2.6 Batimetria e configurazione costiera

I dati relativi alle condizioni del mare hanno lo scopo di fornire tutte le informazioni atte a definire le condizioni del corpo idrico ricevente ed a verificare quali sono le condizioni più critiche ai fini dello scarico delle acque di raffreddamento delle centrali.

Le condizioni ambientali che debbono essere prese in considerazione per una corretta simulazione numerica sono essenzialmente:

- la temperatura dell'acqua di mare
- l'intensità e la direzione prevalente della corrente
- le oscillazioni di marea

Analogamente, i dati meteorologici necessari allo studio fanno riferimento in particolare alle condizioni di temperatura e vento nei bassi strati dell'atmosfera, rilevati in prossimità del sito; infatti essi vengono considerati allo scopo di valutare correttamente lo scambio termico con l'atmosfera e l'eventuale correlazione presente con l'andamento delle correnti, nelle varie stagioni e condizioni climatiche. Pertanto i parametri che devono essere presi in considerazione per una corretta simulazione numerica sono essenzialmente:

- il coefficiente di scambio termico con l'atmosfera
- l'intensità e la direzione prevalente del vento

Per la valutazione di ciascun parametro, in occasione del precedente studio [1] già più volte citato, sono stati esaminati i dati in possesso di CESI e sono stati confrontati con quelli riportati nello studio meteomarinario associato al progetto della darsena [15].

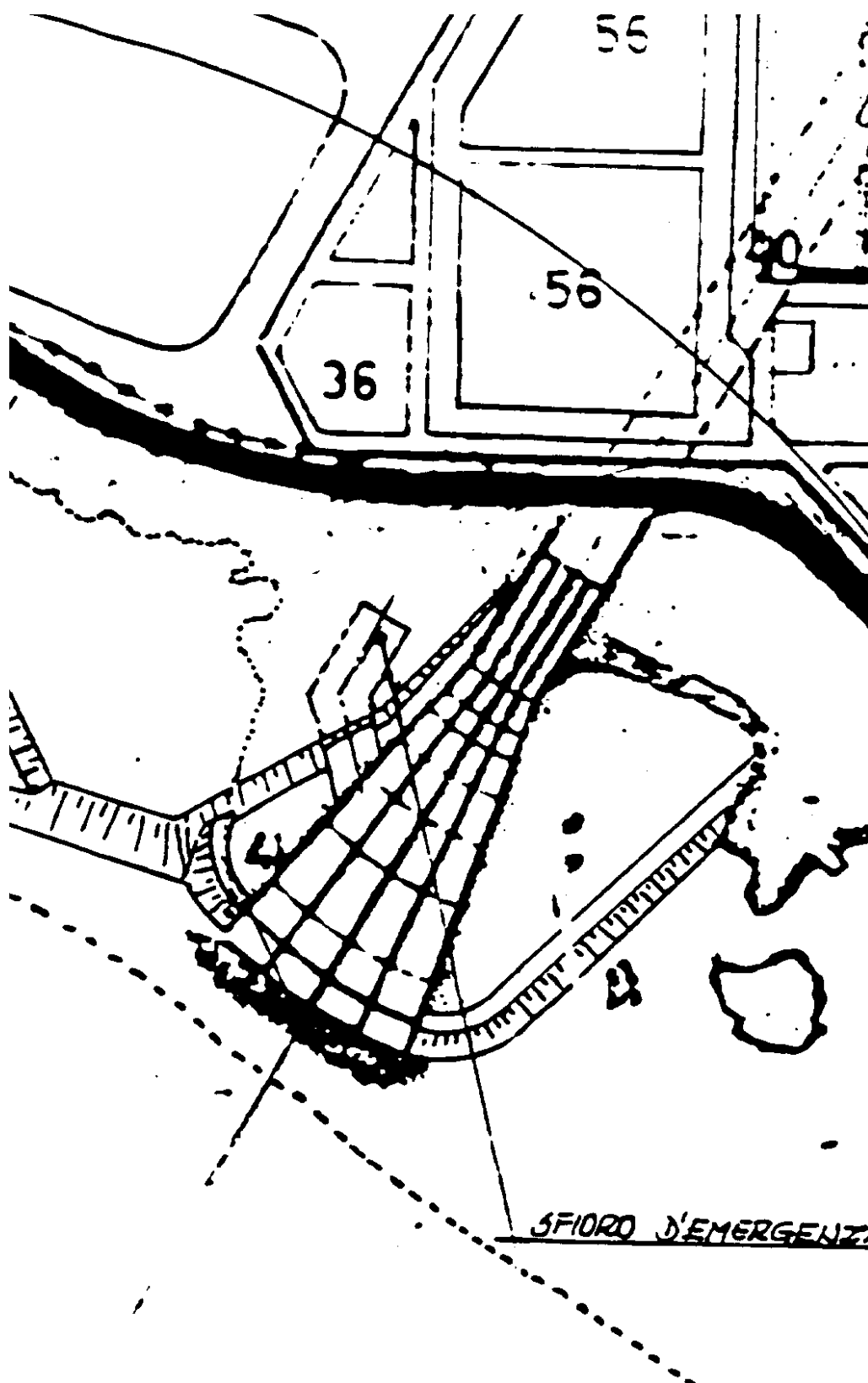


fig. 2.10 - Pianta del diffusore dell'opera di scarico di Torrevaldaliga Nord.

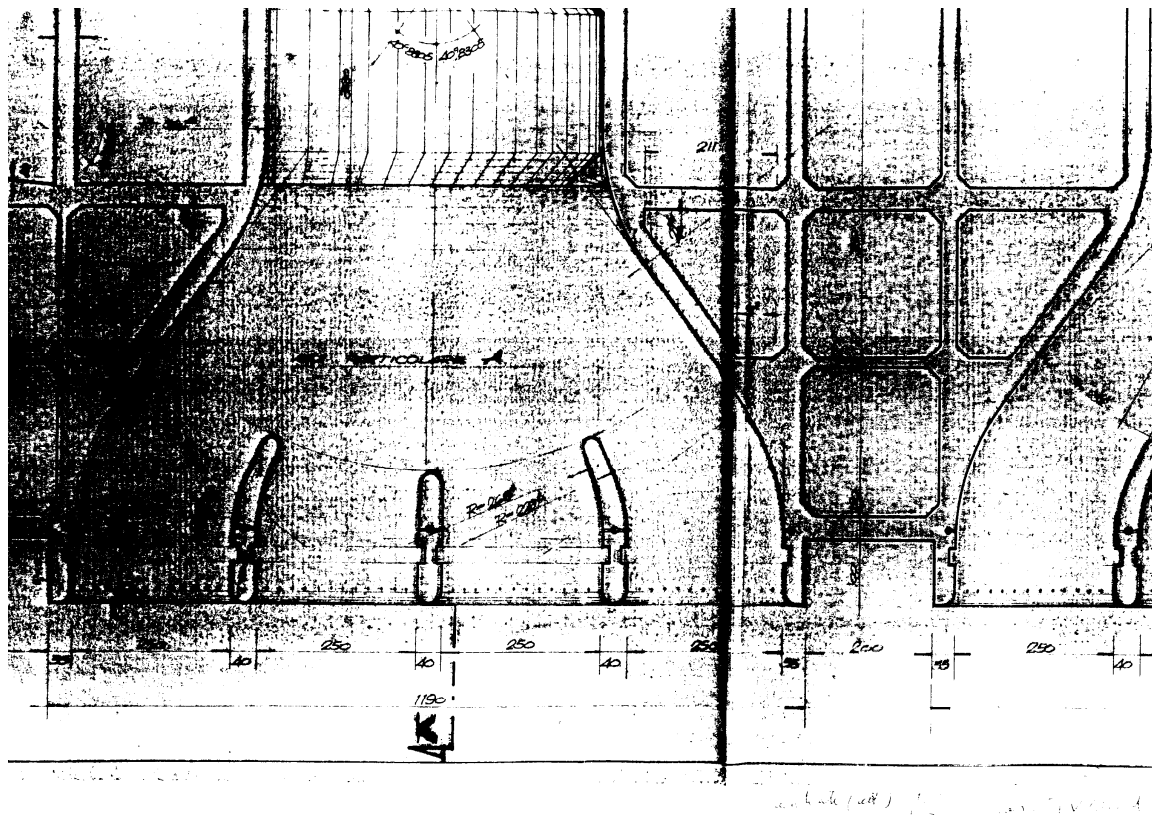
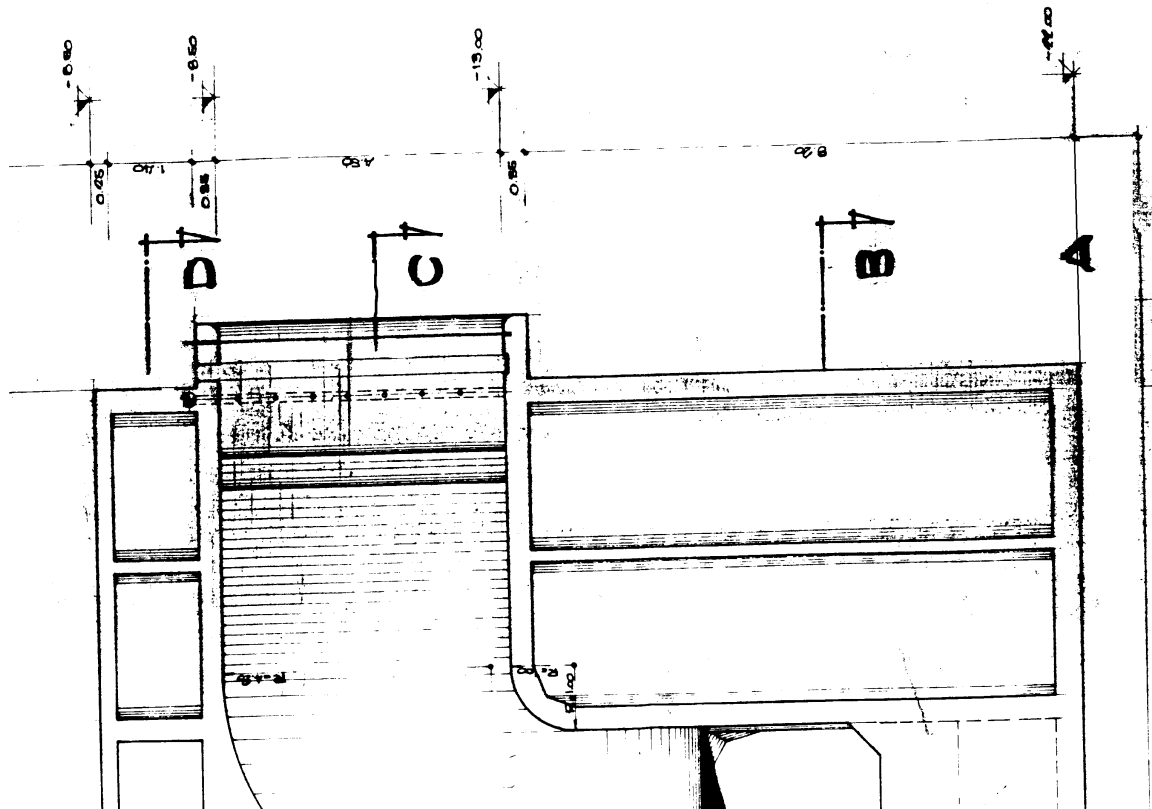


fig. 2.11 - Vista di dettaglio in sezione e in pianta dell'opera di presa di Torrevaldaliga Nord.

Poiché le modifiche progettuali che hanno determinato la necessità del presente studio non alterano le conclusioni del precedente studio per quanto riguarda le condizioni meteomarine caratteristiche del sito, esse sono state qui assunte come già acquisite, rimandando a [1] per gli eventuali approfondimenti. In particolare, per ciascun parametro meteomarino si è assunto che:

- *Direzione della corrente marina.* La corrente marina è sempre tipicamente orientata parallelamente alla costa, sia con direzione SE e quindi tendente a sospingere il pennacchio termico di Torrevaldaliga Nord verso la darsena e quello di Torrevaldaliga Sud verso la nuova presa, sia con direzione NW, in questo caso favorendo la confluenza del pennacchio di Torrevaldaliga Sud con quello di Torrevaldaliga Nord. Inoltre l'influenza della corrente marina è anche determinata dalla concomitanza della direzione del vento, che può esaltarne o contrastarne gli effetti, per cui nel presente studio verranno considerate entrambe le direzioni in funzione delle caratteristiche dello scenario analizzato
- *Velocità della corrente ambientale.* La velocità della corrente marina è stata assunta pari a 0.1 m/s in quanto tale valore medio risulta il più probabile; in particolare l'insieme dei valori inferiori a 0.2 m/s copre l'80% delle situazioni, mentre le situazioni di calma sono dell'ordine del 5%.
- *Intensità del vento.* Per quanto riguarda l'intensità del vento, essa è caratterizzata da una grande variabilità, come si evince dall'esame della fig. 2.12 ma si possono individuare come importanti la situazione di calma, caratterizzata da basso scambio termico e scarso effetto superficiale, e una intensità di vento pari a 6 m/s, caratterizzata da relativamente alto scambio termico e da un effetto superficiale non nullo sul pennacchio, avente una discreta frequenza di accadimento. Sempre con riferimento ai risultati del precedente studio, la condizione più critica che quindi viene adottata è quella con vento di intensità pari a 6 m/s con un coefficiente di scambio termico pari a $44 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$. Sono inoltre state considerate anche condizioni di calma di vento, con un coefficiente di scambio termico in questo caso pari a $20 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$
- *Direzione del vento.* L'analisi dei dati meteorologici in prossimità del sito ha posto in evidenza una significativa frequenza sia per venti provenienti da NW sia per venti provenienti da SE, e quindi sostanzialmente paralleli alla costa; tuttavia non trascurabile è risultata l'influenza dei venti provenienti da SW e quindi diretti verso costa, anche se di minore frequenza. Sempre considerando le situazioni risultate più critiche nel precedente studio, si è assunto di considerare sia la situazione di vento da NW che da SW
- *Livello del mare.* Il livello del mare è determinato dalla marea, che nella zona di Civitavecchia raggiunge alle sizigie i 20 cm; tuttavia le condizioni più conservative sono risultate quelle in condizioni di medio mare, che quindi si sono adottate anche per il presente studio
- *Temperatura del mare.* La temperatura del mare è caratterizzata in media da due valori stagionali, l'uno pari a $14.5 \text{ } ^\circ\text{C}$ tipico della stagione invernale/primaverile e l'altro pari a $25 \text{ } ^\circ\text{C}$ tipica della condizione estivo/autunnale. La prima, essendo risultata la più critica, viene qui assunta per l'analisi.
- *Salinità del mare.* La salinità del mare nella zona considerata non è soggetta a variazioni significative, per cui è stato adottato il valore medio tipico di 38 g/l.

2.7 Condizioni di esercizio delle centrali

Le condizioni di esercizio delle centrali considerate per il presente studio, sono quelle concordate con il Committente e precisamente fanno riferimento alle condizioni nominali di esercizio secondo il nuovo assetto a ciclo combinato dei gruppi di Torrevaldaliga Sud ed al progetto di conversione a carbone della centrale di Torrevaldaliga Nord:

- Condizioni di scarico CTE Torrevaldaliga Nord
 - Portata allo scarico = $98 \text{ m}^3/\text{s}$
 - Delta T allo scarico = $7.65 \text{ }^\circ\text{C}$
- Condizioni di scarico CTE Torrevaldaliga Sud secondo il nuovo assetto a cicli combinati, secondo quanto trasmesso dal Committente su indicazione Interpower S.p.A.:

```
>Opera di presa gruppi 1 e 2
>
>Gr. 1:    Dismesso
>Gr. 2:    a) Condensatore: n° 2 pompe da 6.8 m3/s per un totale di 13.6
>           m3/s con DeltaT = 8°C
>           b) Ciclo chiuso: n° 2 pompe (su 3) da 0.7 m3/s per un totale
>           di 1.4 m3/s con deltaT = 4,3°C
>
>Opera di presa gruppi 3 e 4
>Gr. 3:    a) Condensatore: n°2 pompe da 7 m3/s per un totale di 14 m3/s
>           con deltaT = 4°C
>           b) Ciclo chiuso: n°2 pompe su 3 da 0.7 m3/s per un totale di
>           1.4 m3/s con deltaT = 4,3°C
>
>Gr. 4:    a) Condensatore: n°2 pompe da 7 m3/s per un totale di 14 m3/s
>           con deltaT = 6.7°C
>           b) Ciclo chiuso: n°2 pompe su 3 da 0.7 m3/s per un totale di
>           1.4 m3/s con deltaT = 5°C
```

risultante in:

- Gruppo 1: Portata allo scarico : $0 \text{ m}^3/\text{s}$
Sovralzo termico : $0 \text{ }^\circ\text{C}$
- Gruppo 2: Portata allo scarico : $15 \text{ m}^3/\text{s}$
Sovralzo termico : $7.66 \text{ }^\circ\text{C}$
- Gruppo 3: Portata allo scarico : $15.4 \text{ m}^3/\text{s}$
Sovralzo termico : $4.03 \text{ }^\circ\text{C}$
- Gruppo 4: Portata allo scarico : $15.4 \text{ m}^3/\text{s}$
Sovralzo termico : $6.55 \text{ }^\circ\text{C}$
- Portata totale allo scarico TVS : $45.8 \text{ m}^3/\text{s}$
- Delta T allo scarico TVS : $6.07 \text{ }^\circ\text{C}$
- Portata totale alla presa TVS : $45.8 \text{ m}^3/\text{s}$

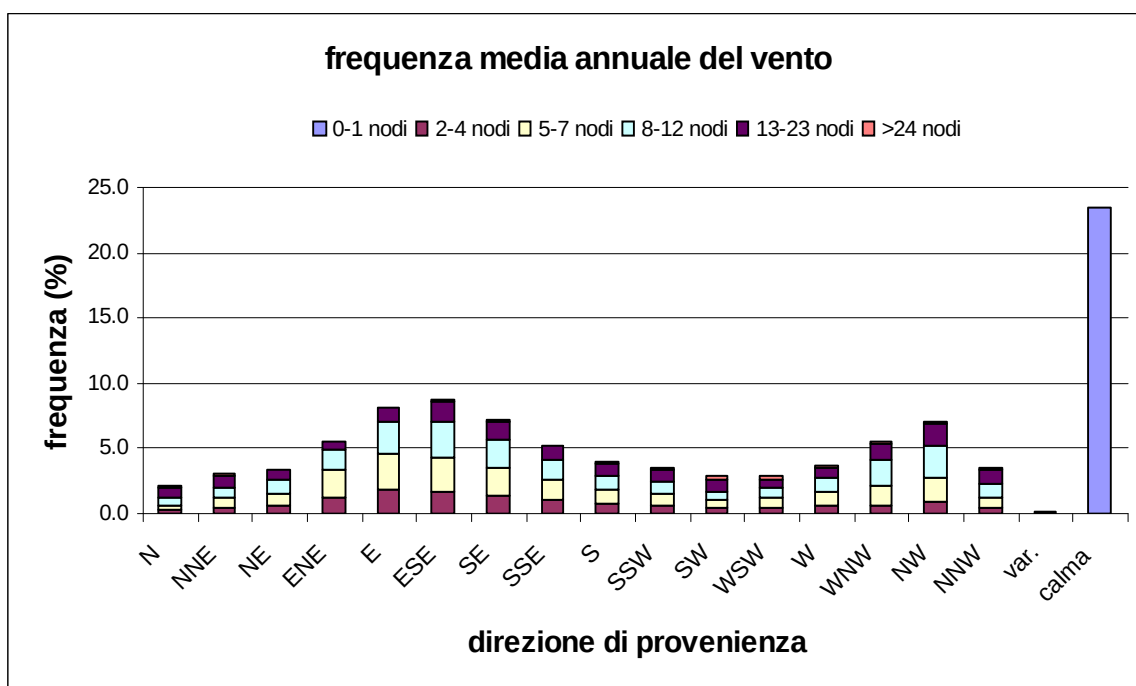
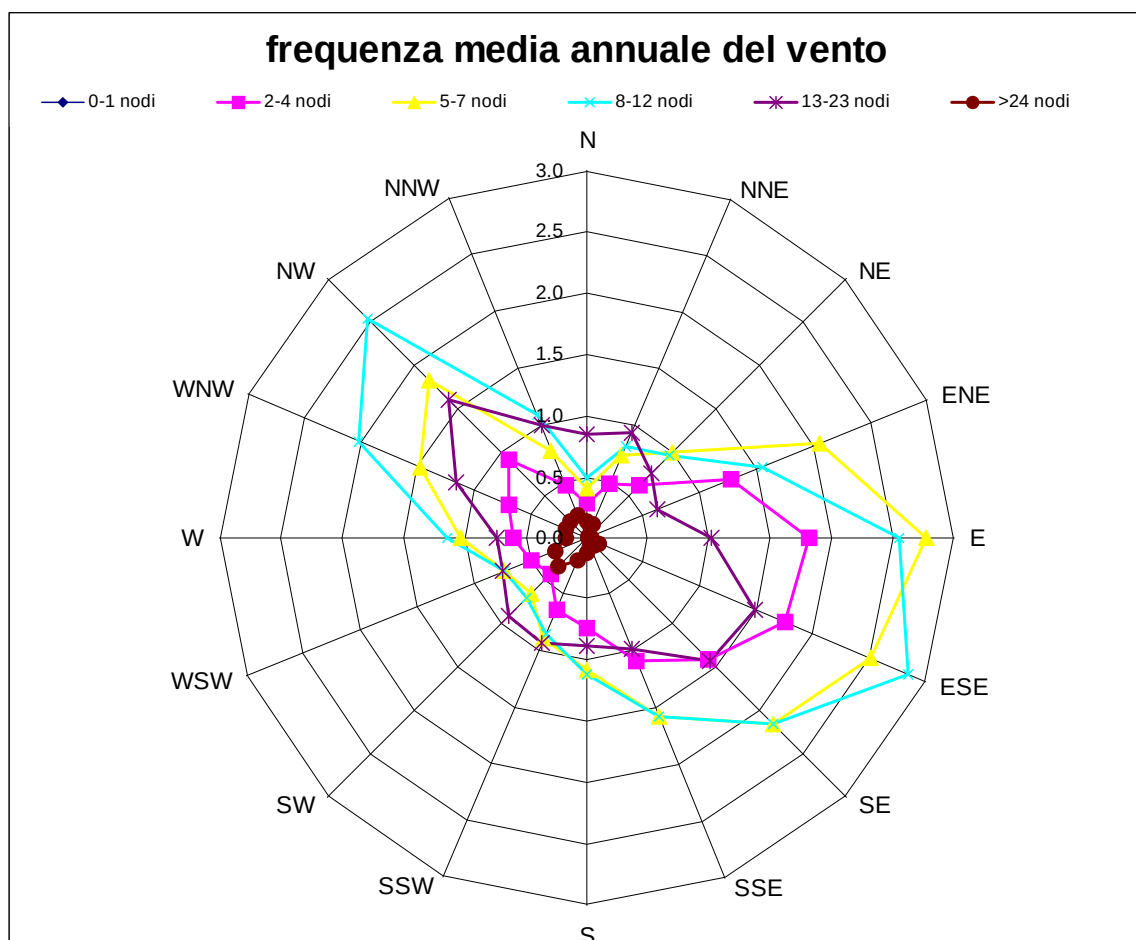


fig. 2.12 – Stazione di Civitavecchia. Distribuzione media annuale del vento

2.8 Schematizzazione del calcolo

Il progetto con la rilocalizzazione delle nuove opere cui il presente studio fa riferimento è mostrato in fig. 2.4 e riporta fedelmente lo schema progettuale fornito dal Committente [10].

Il calcolo utilizza un dominio discretizzato che comprende l'intera darsena, parte del porto di Civitavecchia, nonché la zona di mare antistante la centrale di Torrevaldaliga Nord, per un tratto sufficientemente ampio da poter simulare con sufficiente accuratezza il comportamento dei pennacchi termici di entrambe le centrali. Inoltre è stata descritta con particolare accuratezza la zona oggetto delle ultime modifiche progettuali.

Poiché gli scenari individuati per lo studio comportano due diverse localizzazioni della presa di Torrevaldaliga Sud, il reticolo di calcolo in ciascun caso è stato generato a partire dalla configurazione di

fig. 2.4 modificando opportunamente la discretizzazione nelle zone di volta in volta interessate dagli scarichi e dalle prese.

Nella presente nota preliminare verranno presentati i risultati relativi ai casi A1 ed A2 per lo scenario che prevede la presa esterna alla darsena ed i casi B1 e B2 per lo scenario con la presa interna alla darsena.

Per la tipologia A il dettaglio del dominio di calcolo comprendente la zona interessata più direttamente dagli scarichi e dalle prese è riportato in fig. 2.13, mentre per la tipologia B il dettaglio del dominio di calcolo comprendente la zona interessata più direttamente dagli scarichi e dalle prese è riportato in fig. 2.14. In entrambe le figure la batimetria del fondale comprensiva dei dragaggi da effettuarsi in prossimità delle nuove opere è riportata in falsi colori.

Per quanto riguarda la discretizzazione del dominio di calcolo nel piano, l'area di interesse è stata ancora discretizzata con 192 x 148 celle come nel precedente studio [5], in quanto le modifiche apportate alla griglia di calcolo per adattarla alla nuova configurazione sono relative all'arretramento delle banchine e della zona di interrimento, e non richiedono un maggior dettaglio del reticolo stesso. La griglia di calcolo, quindi, risulta costituita complessivamente da circa 430'000 celle per un totale pari a circa 2'000'000 incognite di calcolo.

Nella tab. 2.6, sulla base delle condizioni di analisi illustrate nel precedente paragrafo, sono riassunti i dati caratteristici degli scarichi e delle prese così come sono stati considerati nelle simulazioni numeriche; leggere differenze di geometria sono imputabili alla necessità di far corrispondere le sezioni reali con le sezioni derivanti dalla discretizzazione del dominio di calcolo.

Il dominio di calcolo considerato ha un'estensione planimetrica di 7600x4640 m² per una profondità massima di 30 m, come illustrato in fig. 2.15. Esso è stato discretizzato nella direzione verticale in 16 strati orizzontali sovrapposti le cui caratteristiche sono riportate in tab. 2.7. La tabella riporta, per ogni strato, l'indice k dello strato, lo spessore ΔZ , la quota Z dei piani di separazione dello strato sovrastante e sottostante, la quota media Z_m dello strato. Gli strati contrassegnati con il simbolo ● indicano le quote a cui sono posizionati gli scarichi e le prese.

La dimensione dei vari strati in cui viene suddiviso il dominio di calcolo in direzione verticale è stata determinata considerando l'altezza dei diversi scarichi, la profondità delle prese e la batimetria della zona e utilizzando i seguenti criteri:

- suddividere la zona superficiale in un numero di strati sufficiente a descrivere in dettaglio i maggiori gradienti termici che si verificano in prossimità degli scarichi;
- definire ciascuno strato in modo tale da aumentare o diminuire gradualmente l'altezza degli strati adiacenti, cosicché non si presentino forti discontinuità spaziali durante il calcolo.

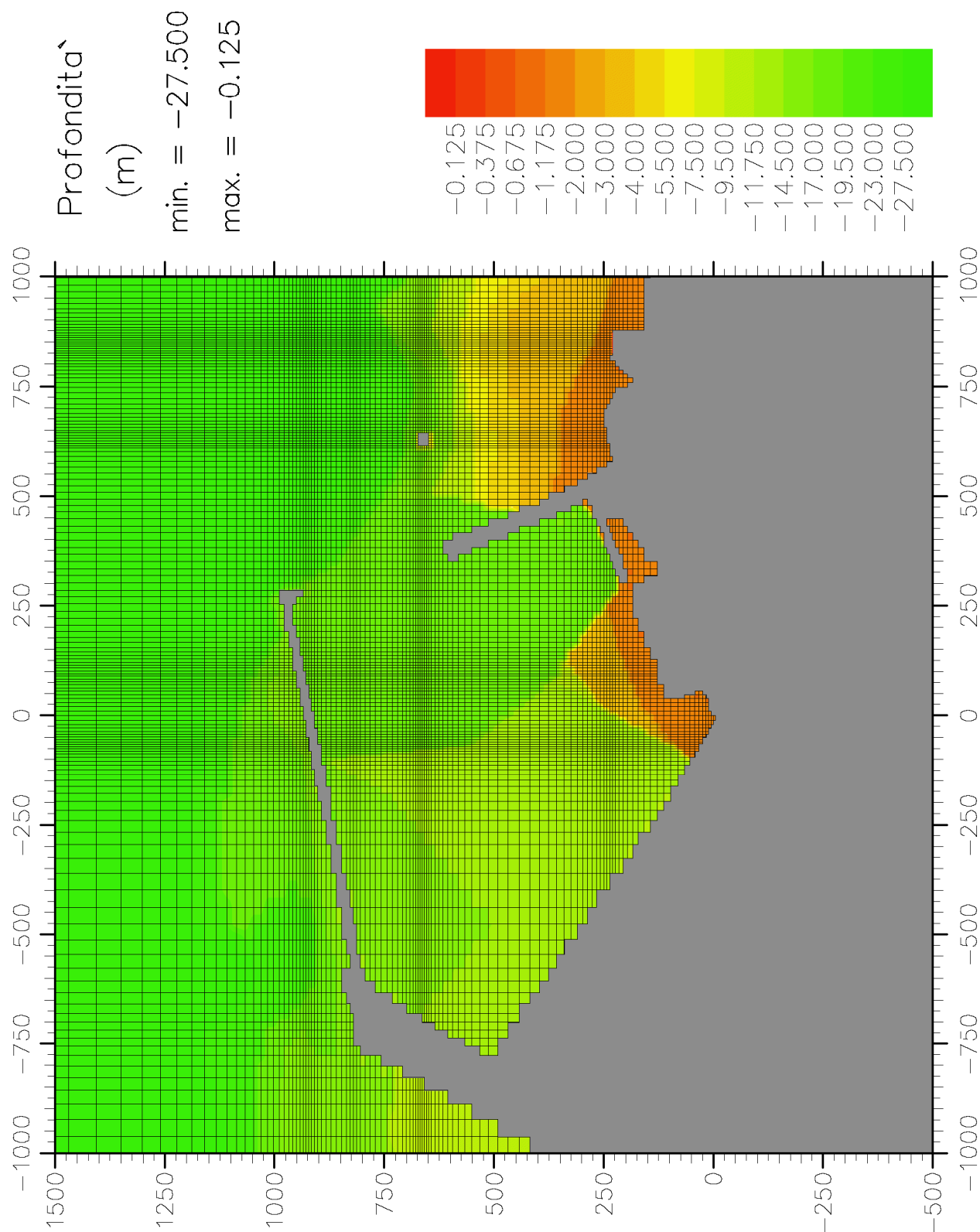


fig. 2.13 – Discretizzazione del reticolo di calcolo con presa TVS esterna alla darsena (particolare)

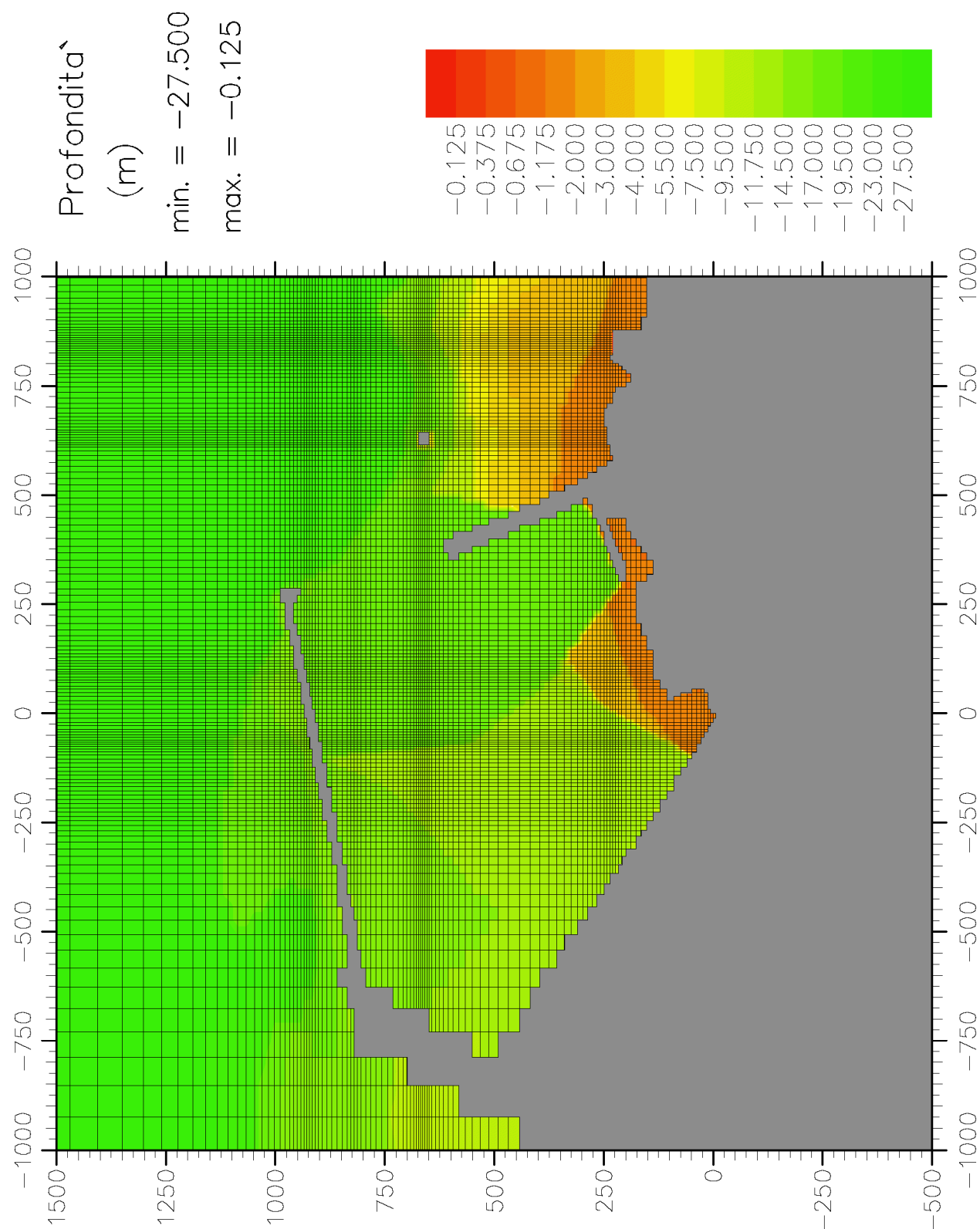


fig. 2.14 – Discretizzazione del reticolo di calcolo con presa TVS interna alla darsena (particolare)

2.9 Condizioni iniziali e condizioni al contorno

Il codice TRIMDI è basato su equazioni valide in regime non stazionario per cui, quando si tratta di riprodurre una situazione stazionaria, questa viene raggiunta simulando un transitorio a partire da una condizione iniziale assegnata. Tale transitorio viene considerato esaurito quando tra un passo temporale e il successivo non sono riscontrabili differenze significative. Ogni simulazione numerica dello studio è stata effettuata partendo da una condizione iniziale di quiete (velocità nulla e temperatura del mare uguale alla temperatura ambiente) in tutte le celle del reticolo.

I parametri relativi alle condizioni di turbolenza assegnati per il calcolo sono riassunti in tab. 2.8.

Le condizioni al contorno assegnate nei vari casi sono riportate invece riassunte in tab. 2.9. Le simulazioni, a partire dalle condizioni iniziali di quiete, sono state fatte proseguire fino a 5 giorni di tempo reale, corrispondente al periodo necessario per il raggiungimento della condizione di stazionarietà del campo di temperatura.

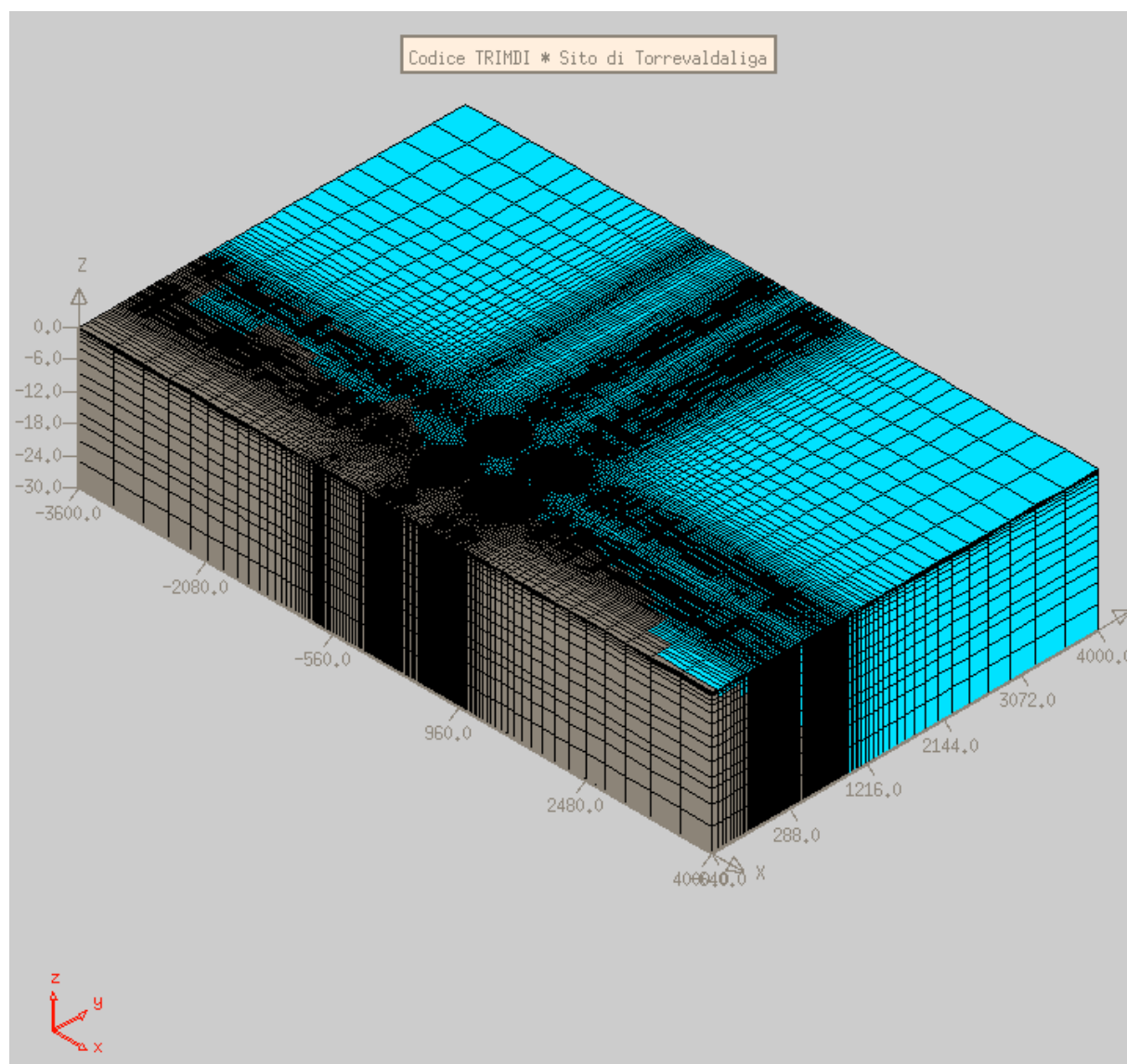


fig. 2.15 – Vista prospettica del dominio di calcolo nelle tre dimensioni

tab. 2.6 – Dati caratteristici delle opere di presa e di scarico nei diversi casi esaminati.

	Simulazioni numeriche	u.d.m.
Nuovo scarico TVS		
Larghezza equivalente	15.3664	m
Altezza equivalente	4	m
Velocità di scarico	0.74513	m/s
Profondità	-4.5÷--8.5	m
Inclinazione verticale dell'asse di scarico	30° rispetto al fondo	
Sovralzo termico allo scarico	6.07	°C
Scarico TVN		
Larghezza equivalente	45.22	m
Altezza equivalente	1.5	m
Velocità di scarico	1.51938	m/s
Inclinazione dell'asse di scarico	18° N dalla linea di	
Sovralzo termico allo scarico	7.65	°C
Nuova presa TVS esterna alla darsena		
Larghezza equivalente	20	m
Altezza equivalente	7	m
Profondità	-8.5÷--13	m
Velocità di aspirazione	0.33	m/s
Inclinazione dell'asse di aspirazione	29.9° S dalla linea di	
Nuova presa TVS interna alla darsena		
Larghezza equivalente	19.25	m
Altezza equivalente	6	m
Profondità	-4.5÷--10.5	m
Velocità di aspirazione	0.4	m/s
Inclinazione dell'asse di aspirazione	0°	
Presa TVN		
numero bocche	4	
Larghezza	10	m
Altezza	4.5	m
Profondità	-8.5÷--13	m
Velocità di aspirazione	0.5444	m/s
Inclinazione dell'asse di aspirazione	0° e 180° alla linea di	

tab. 2.7 - Caratteristiche degli strati verticali del modello.

K	ΔZ (m)	Z (m)	Z _m (m)	Scarico TVS	Scarico TVN	Presa TVS est	Presa TVS int	Presa TVN
		0.00						
16	0.25	-0.25	-0.125		●			
		-0.25						
15	0.25	-0.50	-0.375		●			
		-0.50						
14	0.35	-0.85	-0.675		●			
		-0.85						
13	0.65	-1.50	-1.175		●			
		-1.50						
12	1.00	-2.50	-2.000					
		-2.50						
11	1.00	-3.50	-3.000					
		-3.50						
10	1.00	-4.50	-4.000					
		-4.50						
9	2.00	-6.50	-5.500	●			●	
		-6.50						
8	2.00	-8.50	-7.500	●			●	
		-8.50						
7	2.00	-10.50	-9.500	●		●	●	●
		-10.50						
6	2.50	-13.00	-11.750			●		●
		-13.00						
5	3.00	-16.00	-14.500					
		-16.00						
4	2.00	-18.00	-17.000					
		-18.00						
3	3.00	-21.00	-19.500					
		-21.00						
2	4.00	-25.00	-23.000					
		-25.00						
1	5.00	-30.0	-27.500					
		-30.0						

tab. 2.8 - Valori dei parametri turbolenti usati nel modello.

Numero di Prandtl turbolento	1
Viscosità turbolenta ambientale nel piano orizzontale	0.002 m ² /s
Viscosità turbolenta ambientale in direzione verticale ⁽¹⁾	0.002 m ² /s
Coefficiente della lunghezza di mescolamento	0.07

- (1) Questo valore è il minimo valore assunto durante i calcoli dalla viscosità verticale. Qualora infatti, il modello di turbolenza implementato in TRIMDI calcolasse un valore inferiore al valore di riferimento, si assumerebbe come valore della viscosità verticale questo valore.

tab. 2.9 - Sintesi delle condizioni al contorno imposte

	Caso A1	Caso A2	Caso B1	Caso B2
Lato ingresso corrente costiera				
Velocità direzione x (u) [m/s]	-0.1	-0.1	0.1	0.1
Velocità direzione y (v) [m/s]	0.0	0.0	0.0	0.0
Temperatura acqua (T) [°C]	14.5	14.5	14.5	14.5
Lato uscita corrente costiera				
Velocità direzione x (u) [m/s]	-0.0870432	-0.0870432	0.0869907	0.0869907
Velocità direzione y (v) [m/s]	0.0	0.0	0.0	0.0
Temperatura acqua (T) [°C]	Calcolata ⁽¹⁾	Calcolata ⁽¹⁾	Calcolata ⁽¹⁾	Calcolata ⁽¹⁾
Lato mare aperto				
Gradiente normale di u [s-1]	0	0	0	0
Velocità direzione y (v) [m/s]	0.0	0.0	0.0	0.0
Gradiente norm. di T [°C/m]	0	0	0	0
Lato della linea di costa				
Velocità direzione x (u) [m/s]	0.0	0.0	0.0	0.0
Velocità direzione y (v) [m/s]	0.0	0.0	0.0	0.0
Gradiente norm. di T [°C/m]	0	0	0	0
Nuovo scarico TVS				
Velocità direzione x (u) [m/s]	0.0 ⁽²⁾	0.0 ⁽²⁾	0.0 ⁽²⁾	0.0 ⁽²⁾
Velocità direzione y (v) [m/s]	0.75403359 ⁽²⁾	0.75403359 ⁽²⁾	0.75403359 ⁽²⁾	0.75403359 ⁽²⁾
Temperatura acqua (T) [°C]	20.57	20.57	20.57	20.57
Scarico TVN				
Velocità direzione x (u) [m/s]	0.47021 ⁽²⁾	0.47021 ⁽²⁾	0.47021 ⁽²⁾	0.47021 ⁽²⁾
Velocità direzione y (v) [m/s]	1.44479 ⁽²⁾	1.44479 ⁽²⁾	1.44479 ⁽²⁾	1.44479 ⁽²⁾
Temperatura acqua (T) [°C]	22.15	22.15	22.15	22.15
Nuova presa TVS	<i>esterna</i>	<i>esterna</i>	<i>interna</i>	<i>interna</i>
Velocità direzione x (u) [m/s]	0.0 ⁽²⁾	0.0 ⁽²⁾	0.0 ⁽²⁾	0.0 ⁽²⁾
Velocità direzione y (v) [m/s]	-0.283504 ⁽²⁾	-0.283504 ⁽²⁾	-0.396537 ⁽²⁾	-0.396537 ⁽²⁾
Gradiente norm. di T [°C/m]	0	0	0	0
Presa TVN				
Velocità direzione x (u) [m/s]	0.5444 (-0.5444)	0.5444 (-0.5444)	0.5444 (-0.5444)	0.0 ⁽²⁾
Gradiente normale di v [s-1]	0	0	0	-0.06234 ⁽²⁾
Gradiente norm. di T [°C/m]	0	0	0	0

(1) Si assume che la temperatura dell'acqua raggiunga la temperatura ambiente alla distanza di 3000 m dal contorno del dominio.

(2) Per il calcolo delle componenti della velocità di scarico si è utilizzata l'usuale algebra vettoriale a partire dai dati di paragrafo 2.7

3 ANALISI DEI RISULTATI

3.1 Premessa

I risultati relativi a ciascuno degli scenari considerati nello studio sono stati analizzati sia graficamente sia mediante post processor analitici per estrarre l'insieme delle informazioni atte a caratterizzare esaurientemente le condizioni degli scarichi e dell'intera zona di mare da essi interessata. In particolare, per ogni caso sono stati riprodotti:

- i campi termici al livello del mare ed alle quote interessate dalle prese e dallo scarico TVS . Il campo superficiale ha interesse per valutare l'effetto dello scambio termico con l'atmosfera;
- i campi di moto in superficie ed alla quota media delle opere di presa, allo scopo di valutare l'effetto della nuova configurazione di darsena;
- una vista in sezione verticale del campo termico, in corrispondenza delle sezioni di scarico e di presa ritenute più significative, allo scopo di valutare l'effetto di galleggiamento dei pennacchi ed il loro comportamento in prossimità delle opere.

E' stata inoltre effettuata la valutazione del campo termico medio nello strato di 3 m sotto la superficie del mare, in termini di sovrariscaldamento termico rispetto alla temperatura ambientale, allo scopo di verificare il rispetto dei requisiti di legge, e dei flussi termici alle prese allo scopo di individuare possibili situazioni di ricircolo termico.

Va infine ricordato che al termine dello studio sono state apportate alcune modifiche al progetto in riferimento alla posizione della banchina carbone e alla posizione relativa della banchina gessi rispetto alla banchina carbone stessa, ma tali modifiche sono di entità tale da potersi ritenere pressoché ininfluenti ai fini del presente studio, tenuto anche conto della posizione dello scarico TVS, esterna al molo di sopraflutto.

3.2 Distribuzione della temperatura e campo di moto

3.2.1 Caso A1 con presa esterna. Condizioni di vento da NW e di corrente verso SE

Tale caso è caratterizzato da condizioni invernali di temperatura, corrente ambientale di 0.1 m/s diretta verso SE, vento di intensità pari a 6 m/s, proveniente da NW e livello medio del mare; la frequenza di tali condizioni di vento, intorno all'8 %, è stata scelta in quanto tende a favorire, come anche la corrente, lo spostamento del pennacchio caldo verso la presa.

Gli andamenti dei campi termico e di moto derivante dalla simulazione sono riportati nelle figure dalla fig. 3.1 alla fig. 3.9 per quanto attiene i principali aspetti di analisi, tenendo presente che in tali figure viene riportata solo la parte del reticolo di calcolo interessante la struttura della darsena ed i fenomeni di dispersione.

Le considerazioni che si possono trarre per questo caso si possono così riassumere:

- per effetto contemporaneo di vento e corrente, i pennacchi termici relativi sia allo scarico di Torrealvaldiga Nord che Sud di fatto piegano verso Sud (fig. 3.1), mantenendosi a ridosso del molo di sopraflutto. Ciò fa sì che l'opera di presa Nord sia interessata a livello superficiale da acqua avente un sovrariscaldamento termico dell'ordine di 1 °C circa, mentre invece la nuova presa Sud, posta all'esterno del molo, non sembra interessata dal pennacchio. Scendendo però alla quota delle prese (fig. 3.2), si nota immediatamente l'assenza di

qualsiasi perturbazione termica significativa, il che fa presumere l'assenza di ricircolo significativo alle prese;

- l'esame comparato della fig. 3.1, relativa al campo termico superficiale, e della fig. 3.3, relativa invece al campo termico alla quota media del nuovo scarico di Torrevaldaliga Sud, fa immediatamente notare come l'acqua calda scaricata si porti immediatamente alla superficie, per poi diffondere e raffreddarsi. Questo comportamento, oltre che alla naturale spinta al galleggiamento dovuta alla differenza di densità, è dovuto anche al valore relativamente basso della velocità di uscita e soprattutto all'inclinazione verso l'alto delle bocche di scarico; ciò rappresenta un ulteriore elemento a favore del mantenimento del pennacchio a quote assai lontane da quelle di aspirazione. Quanto detto in precedenza trova conferma nella fig. 3.4 e nella fig. 3.5, che mostrano rispettivamente una sezione verticale del nuovo scarico e della nuova presa di Torrevaldaliga Sud;
- analogamente, la fig. 3.6 mostra la sezione verticale ortogonale all'opera di presa di Torrevaldaliga Nord, da cui è immediato vedere come l'effetto della aspirazione sia comunque tale da non innescare fenomeni di ricircolo;
- l'esame dell'andamento del pennacchio termico di Torrevaldaliga Nord nello strato superficiale (fig. 3.1) mostra un sovrizzo termico superiore ai 3 °C fino ad una distanza dallo scarico di poco superiore ai 1000 m, ma il pennacchio di Torrevaldaliga Nord presenta un limitato spessore verticale, per cui non si prevedono criticità dal punto di vista dei limiti termici, mentre in ogni caso non si hanno problemi per lo scarico di Torrevaldaliga Sud. La valutazione rigorosa dei limiti termici sarà comunque discussa in dettaglio nel successivo paragrafo;
- infine, le figure dalla fig. 3.7 alla fig. 3.9 sono relative al campo di velocità che si instaura rispettivamente nello strato superficiale, alla quota nel nuovo scarico ed alla quota delle prese. Si nota in generale l'effetto prevalente dei getti di scarico sulla corrente per una zona comunque limitata a qualche centinaio di metri davanti agli scarichi, ed i vortici creati in corrispondenza alle opere di presa dalla relativa aspirazione. Per quanto riguarda la darsena, poi, le condizioni meteomarine e l'effetto degli scarichi è tale da far sì che l'acqua di mare entra nella darsena in superficie (fig. 3.7) ed esce in profondità (fig. 3.8 e fig. 3.9).

Quanto sopra commentato porta a concludere che la situazione esaminata è di fatto accettabile dal punto di vista delle possibili condizioni di ricircolo, nonché dal punto di vista del rispetto dei limiti di legge.

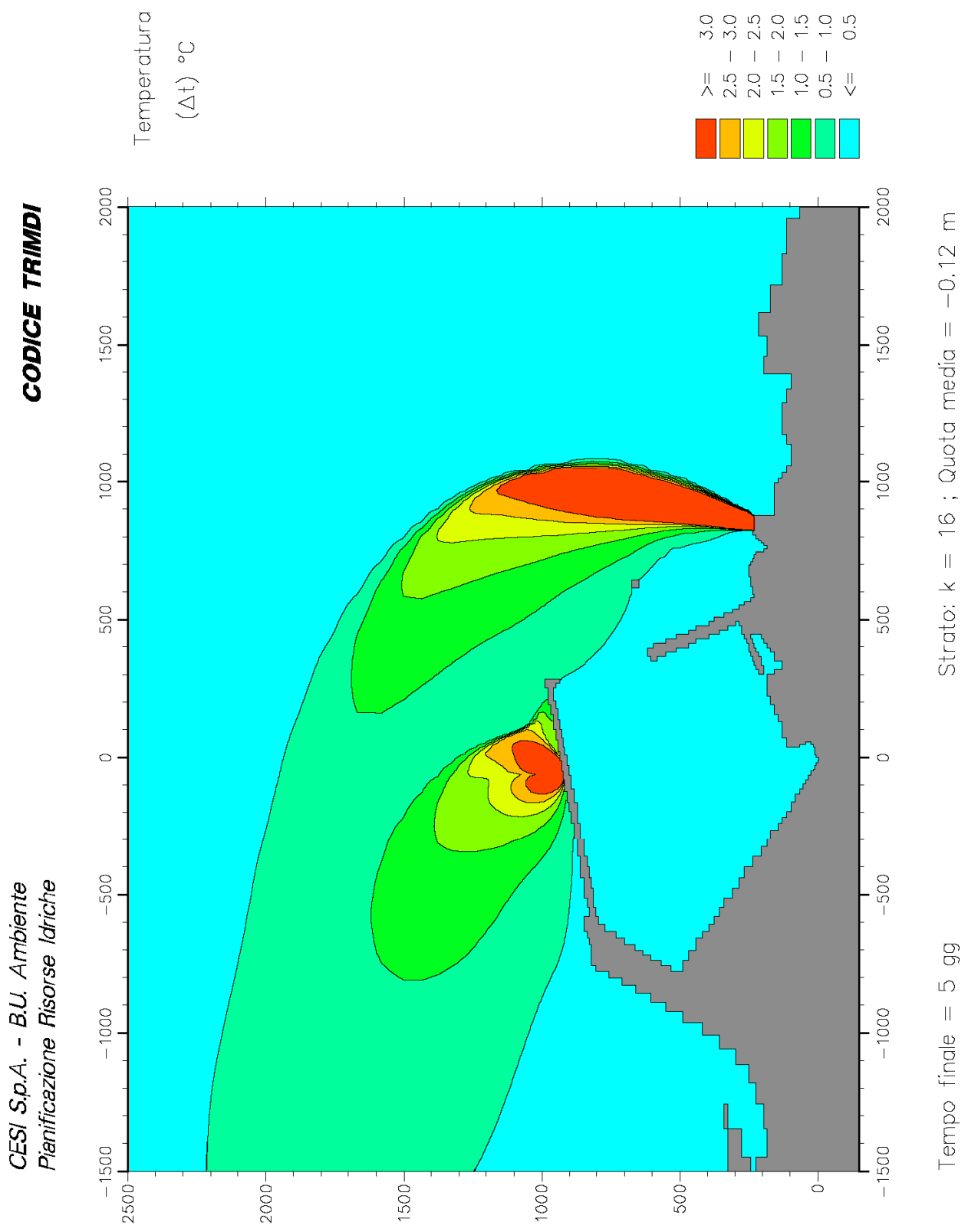


fig. 3.1 – Caso A1. Andamento della temperatura nello strato superficiale

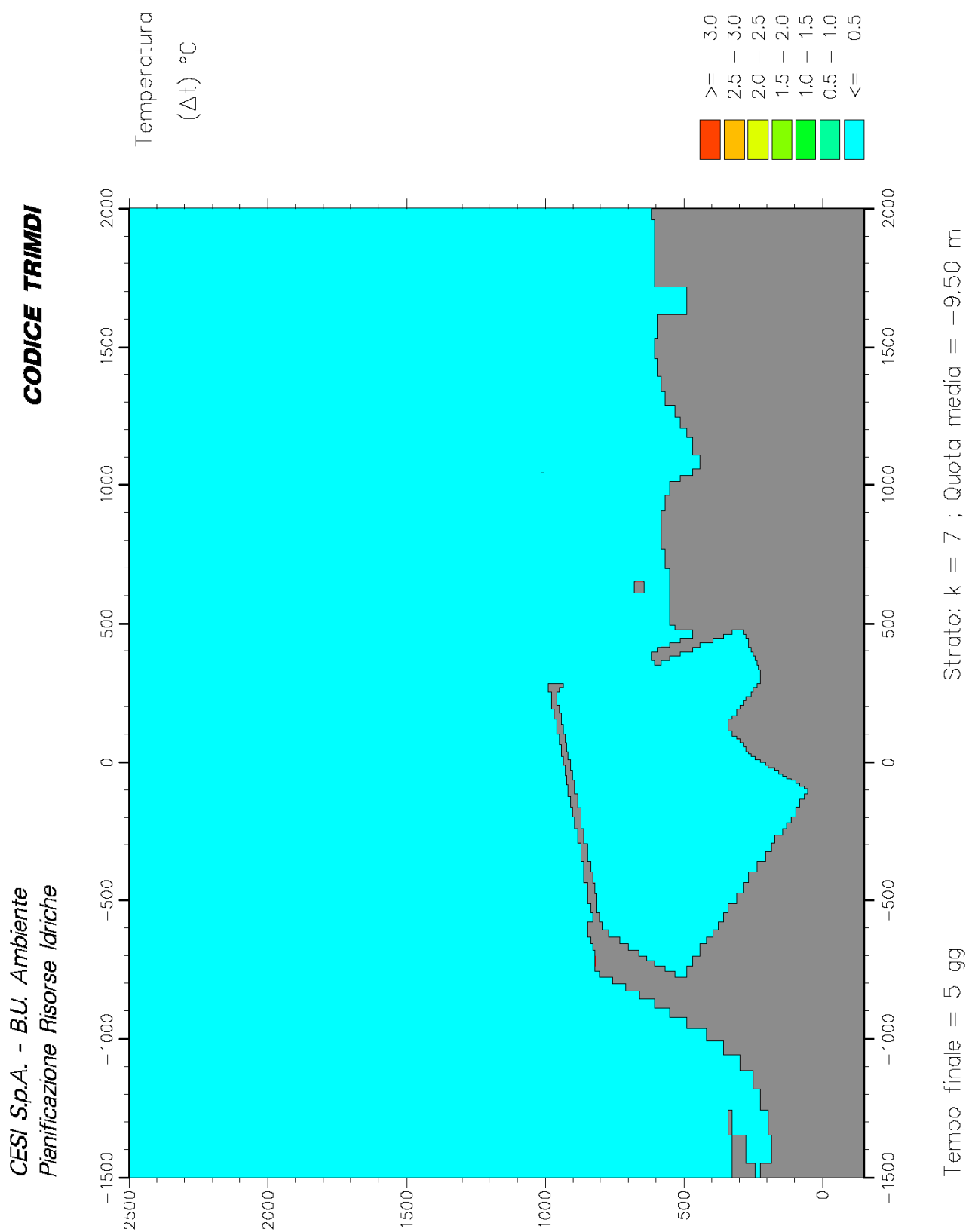


fig. 3.2 – Caso A1. Andamento della temperatura alla quota delle prese

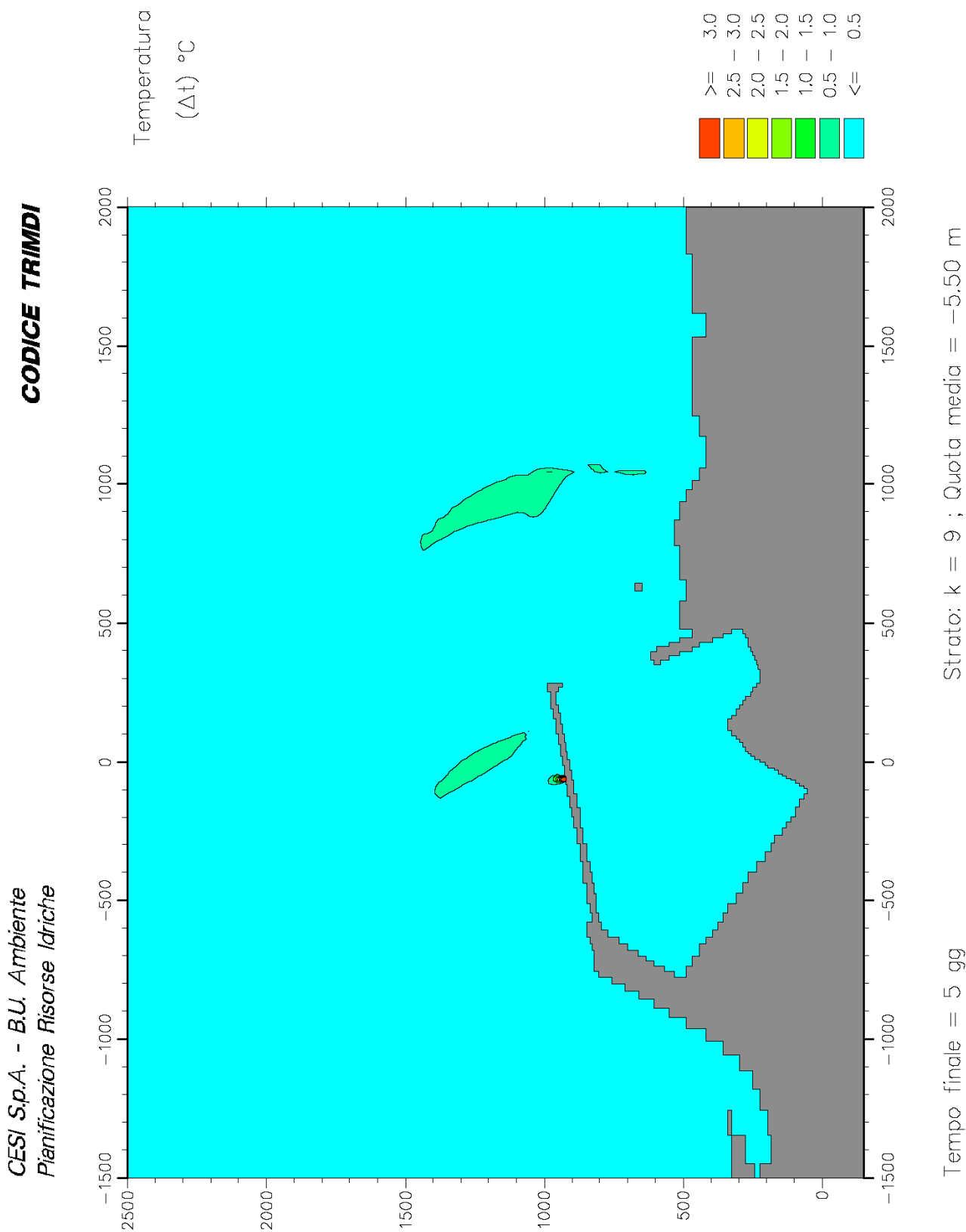


fig. 3.3 – Caso A1. Andamento della temperatura alla quota dello scarico TVS

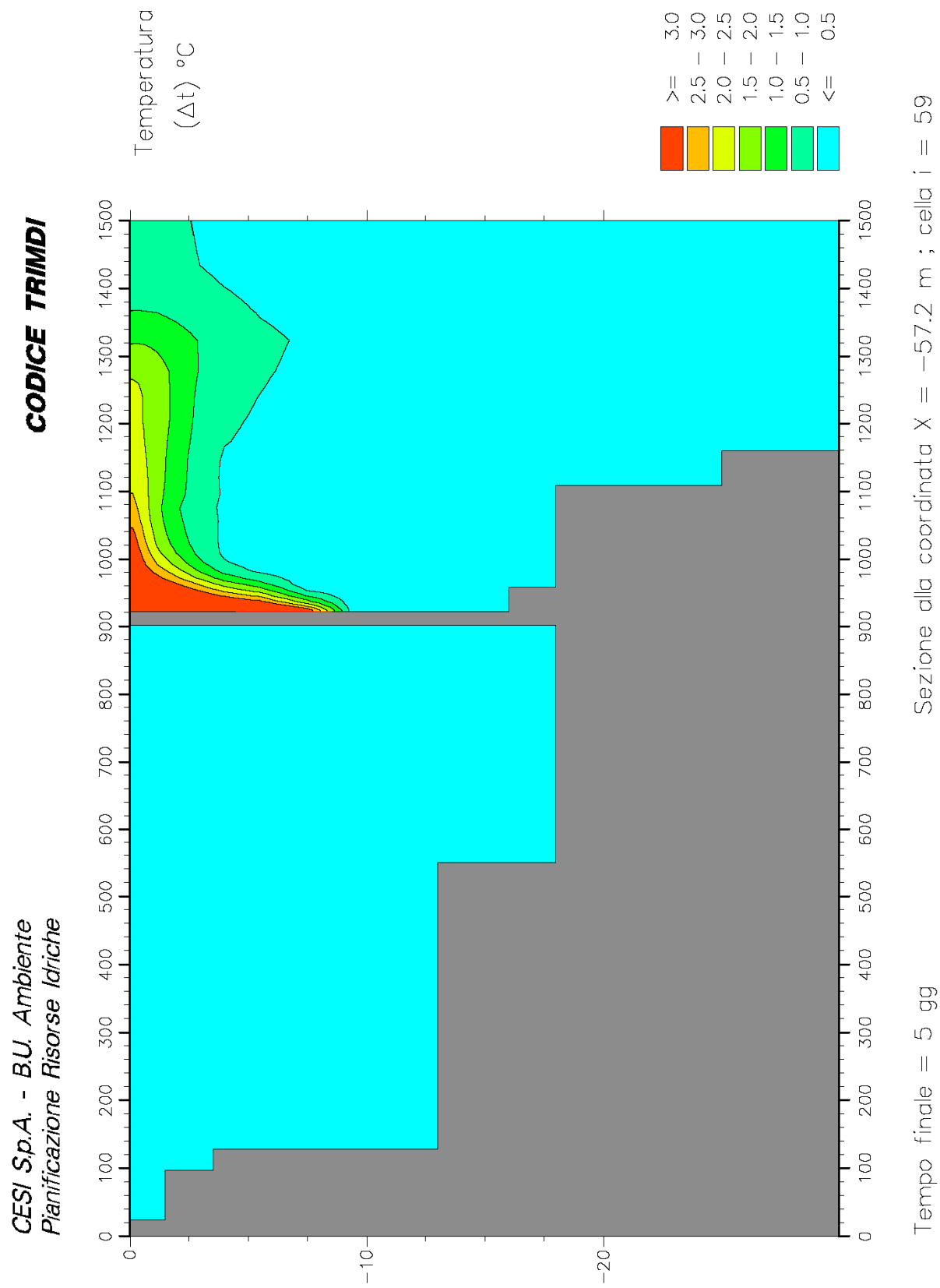


fig. 3.4 – Caso A1. Sezione verticale di temperatura in corrispondenza dello scarico TVS

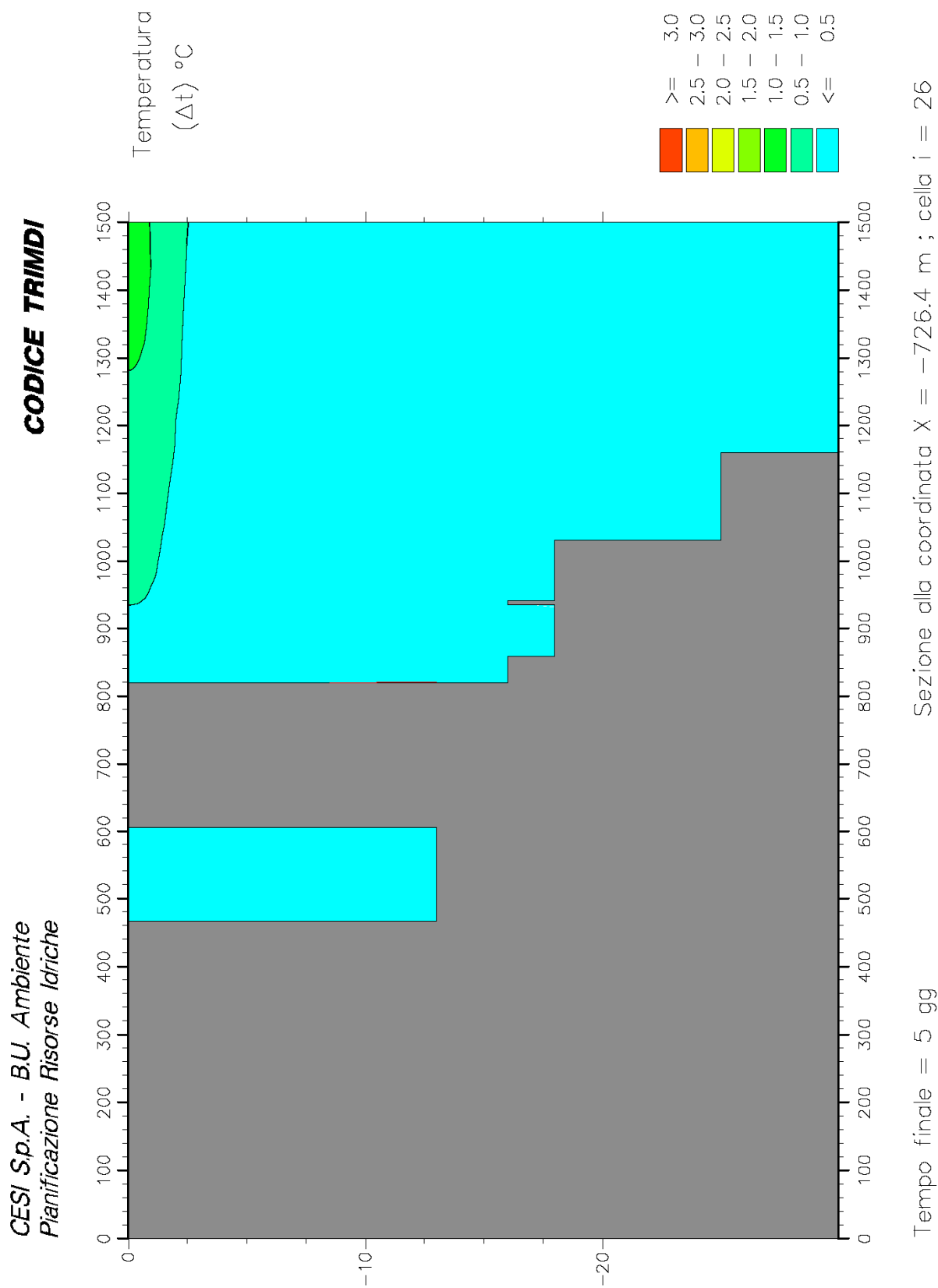


fig. 3.5 - Caso A1. Sezione verticale di temperatura in corrispondenza della presa TVS

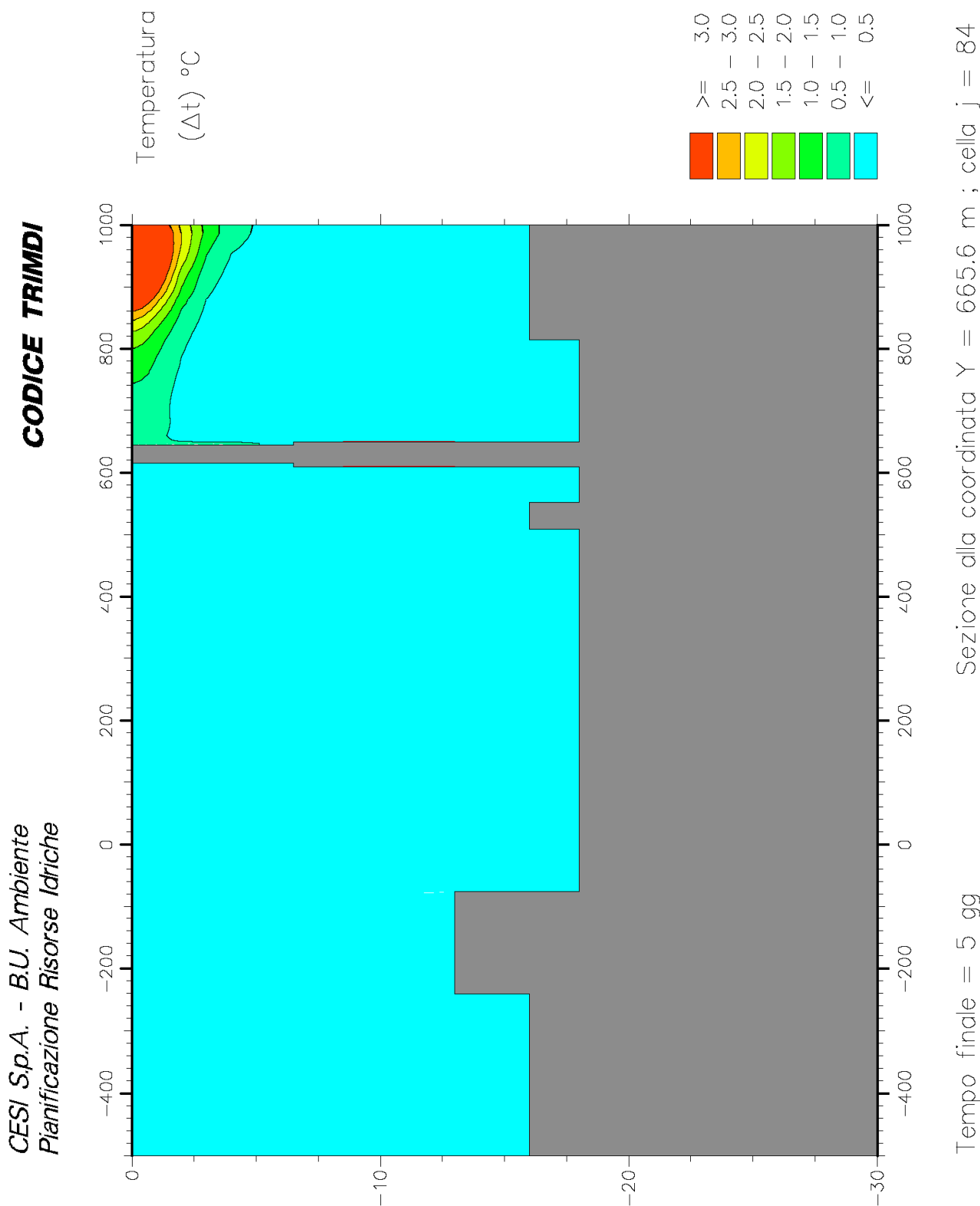


fig. 3.6 - Caso A1. Sezione verticale di temperatura in corrispondenza della presa TVN

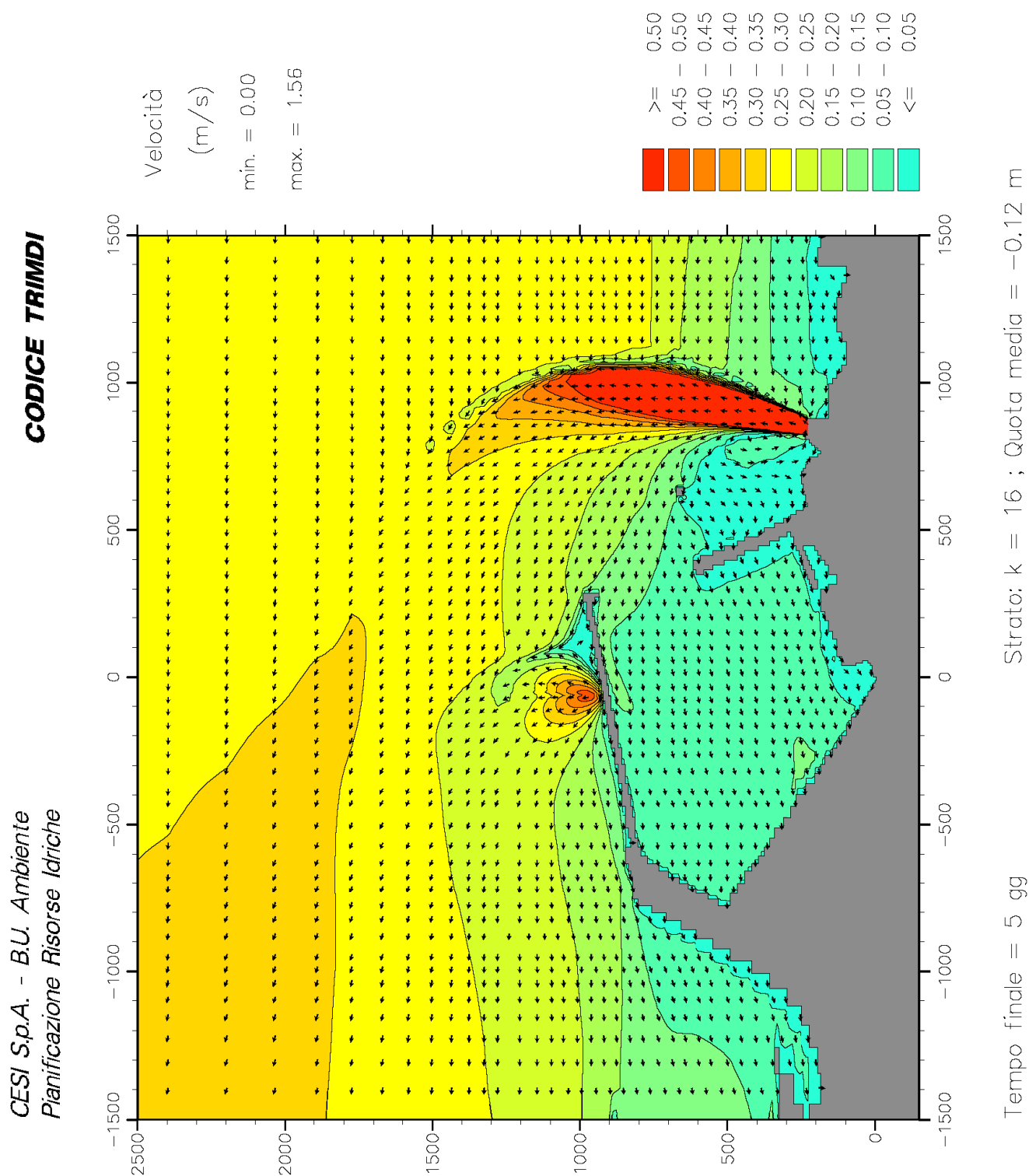


fig. 3.7 – Caso A1. Andamento del campo di velocità nello strato superficiale

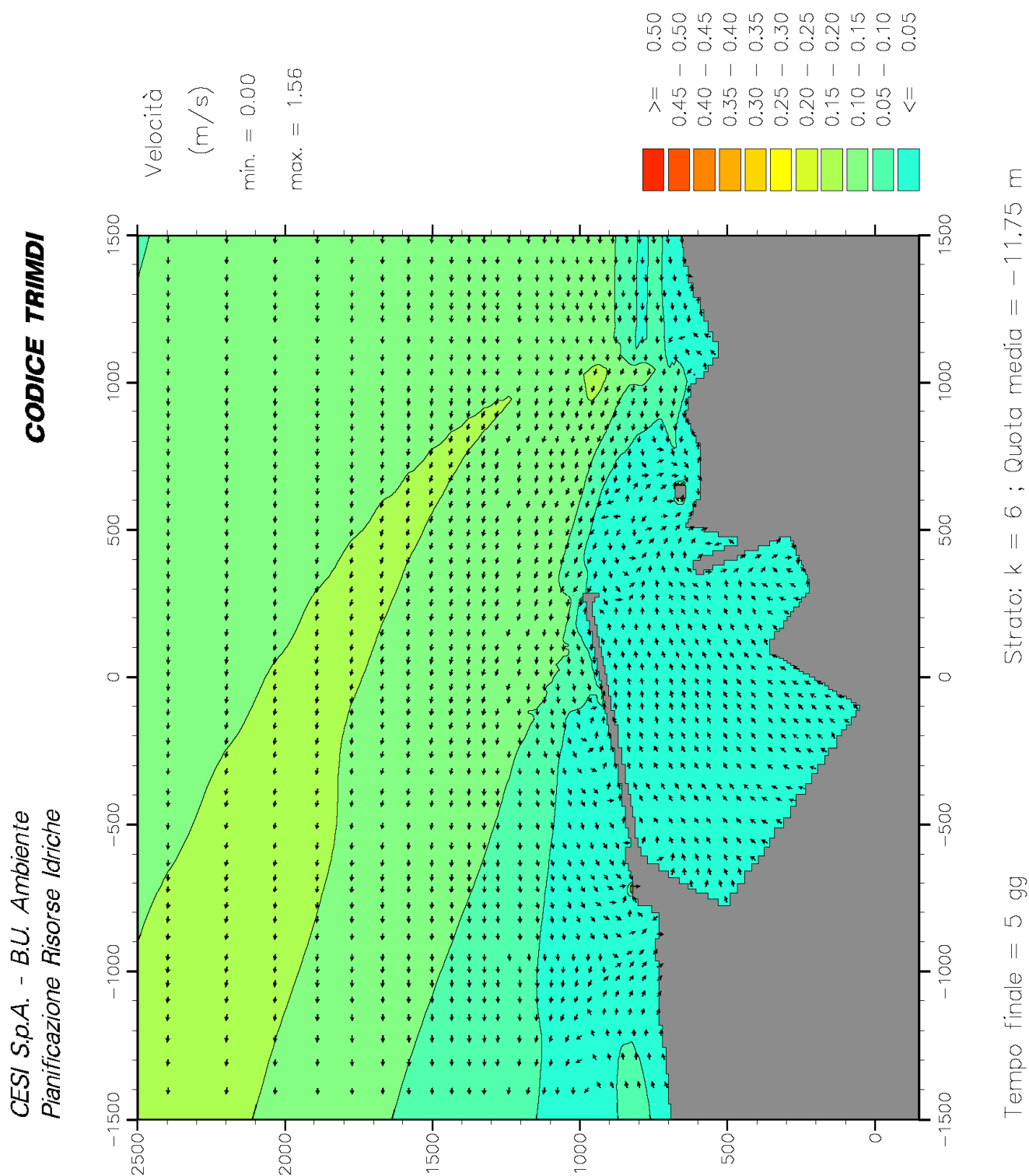


fig. 3.8 – Caso A1. Andamento del campo di velocità alla quota delle prese

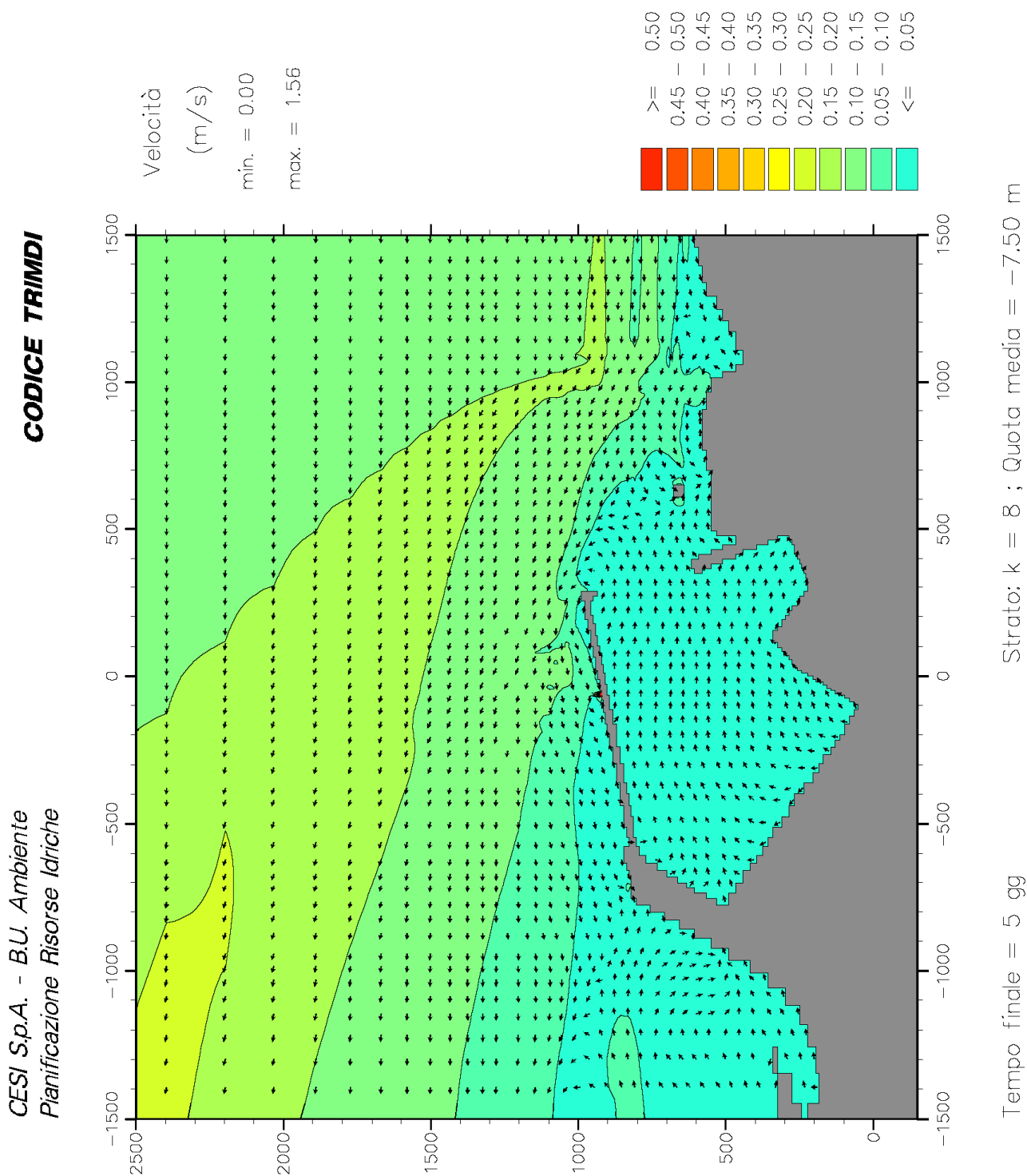


fig. 3.9 - Caso A1. Andamento del campo di velocità alla quota dello scarico TVS

3.2.2 Caso A2 con presa esterna. Condizioni di vento da SW e di corrente diretta verso SE.

Tale caso è caratterizzato da condizioni invernali di temperatura, corrente ambientale di 0.1 m/s diretta verso SE, vento di intensità pari a 6 m/s, proveniente da SW e livello medio del mare; la frequenza di tali condizioni di vento è dell'ordine del 5%, e quindi inferiore alle frequenze corrispondenti alle direzioni NW e SE, ma è una condizione particolarmente critica in quanto il vento proveniente da questa direzione soffia verso costa e quindi tende ad ostacolare la dispersione al largo dei pennacchi.

Gli andamenti dei campi termico e di moto derivante dalla simulazione sono riportati nelle figure dalla fig. 3.10 alla fig. 3.18 per quanto attiene i principali aspetti di analisi, tenendo presente che in tali figure viene riportata solo la parte del reticolo di calcolo interessante la struttura della darsena ed i fenomeni di dispersione.

Le considerazioni preliminari che si possono trarre per questo caso, dall'esame delle figure e dei risultati della simulazione numerica, sono:

- per effetto contemporaneo di vento e corrente, i pennacchi termici relativi sia allo scarico di Torrevaldaliga Nord che Sud tendono a mantenersi più sottocosta (fig. 3.10), assai a ridosso del molo di sopraflutto. Ciò fa sì che l'opera di presa Nord sia interessata a livello superficiale da acqua avente un sovrizzo termico dell'ordine di 1 °C circa, mentre anche la zona antistante la nuova presa Sud, posta all'esterno del molo, è interessata, ma a livello superficiale, da acqua a temperature dell'ordine di + 1.5 °C rispetto alla temperatura naturale; anche la bocca di darsena viene interessata da acqua moderatamente calda. Scendendo alla quota delle prese (fig. 3.11), si nota l'assenza di qualsiasi perturbazione termica significativa in corrispondenza dell'opera di presa Nord, mentre invece si verifica una limitata ma significativa area calda immediatamente antistante la presa Sud, con una possibile presenza di ricircolo. In effetti, il pennacchio che non può liberamente diffondere in superficie verso il largo aumenta il proprio spessore verticale, con una discesa a maggiori profondità proprio in corrispondenza del lato a mare del molo di sopraflutto. Si nota inoltre in fig. 3.11 la formazione di una sacca calda in profondità nella zona del vecchio porto;
- l'esame della fig. 3.12, relativa al campo termico alla quota del nuovo scarico, intermedia tra lo strato superficiale e la quota delle prese, conferma quanto detto in precedenza. D'altra parte il confronto tra la sezione verticale al nuovo scarico di fig. 3.13 e di fig. 3.4, mostra il maggior spessore verticale raggiunto in queste condizioni dal pennacchio relativo allo scarico di Torrevaldaliga Sud;
- la fig. 3.14 mostra la sezione verticale ortogonale all'opera di presa di Torrevaldaliga Sud, e conferma quanto già emerso in precedenza, con una probabilità da quantizzare ma non nulla, di un moderato ricircolo termico, mentre anche la fig. 3.15 mostra un maggior sprofondamento di acqua moderatamente calda lungo il torrino di presa;
- l'esame dell'andamento del pennacchio termico di Torrevaldaliga Nord nello strato superficiale (fig. 3.10) mostra un sovrizzo termico superiore ai 3 °C fino ad una distanza dallo scarico di poco superiore ai 1300 m, per cui è necessario verificare in questo caso il rispetto dei limiti termici, mentre in ogni caso non si hanno problemi per lo scarico di Torrevaldaliga Sud. La valutazione rigorosa dei limiti termici sarà comunque discussa in dettaglio nel successivo paragrafo;
- infine, le figure dalla fig. 3.16 alla fig. 3.18 sono relative al campo di velocità che si instaura rispettivamente nello strato superficiale, alla quota nel nuovo scarico ed alla quota delle prese. Si nota in generale l'effetto prevalente dei getti di scarico sulla corrente per una zona comunque limitata a qualche centinaio di metri davanti agli scarichi, ed i vortici creati in

corrispondenza alle opere di presa dalla relativa aspirazione. Per quanto riguarda la darsena, poi, le condizioni meteomarine e l'effetto degli scarichi è tale da far sì che l'acqua di mare entra ancora nella darsena in superficie (fig. 3.16) ed esce in profondità (fig. 3.17 e fig. 3.18), con in più l'instaurarsi entro la darsena, in prossimità della bocca, di un ampio vortice di profondità.

Quanto sopra commentato porta a concludere che la situazione esaminata può rivelarsi critica dal punto di vista delle possibili condizioni di ricircolo, nonché dal punto di vista del rispetto dei limiti di legge.

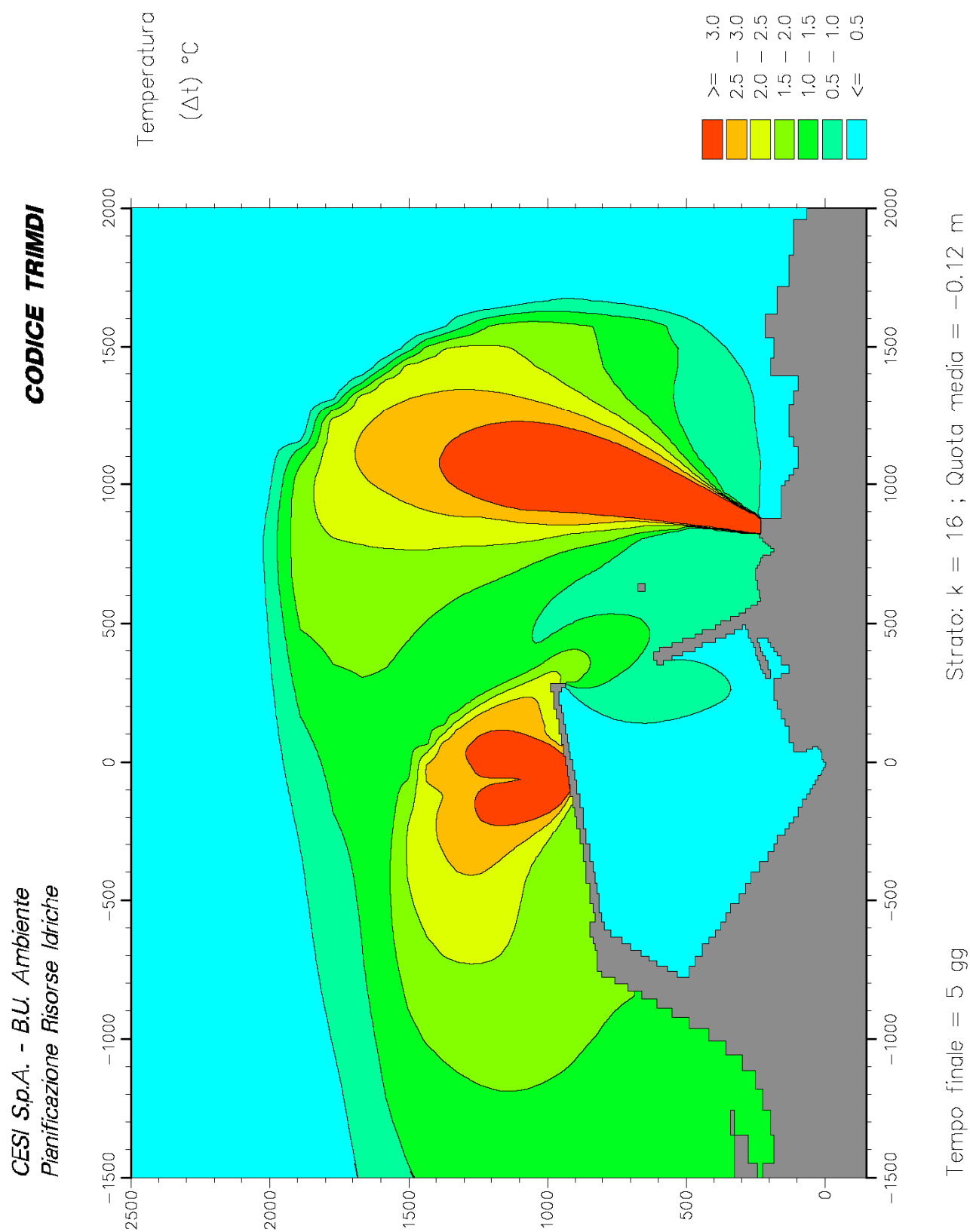


fig. 3.10 – Caso A2. Andamento della temperatura nello strato superficiale

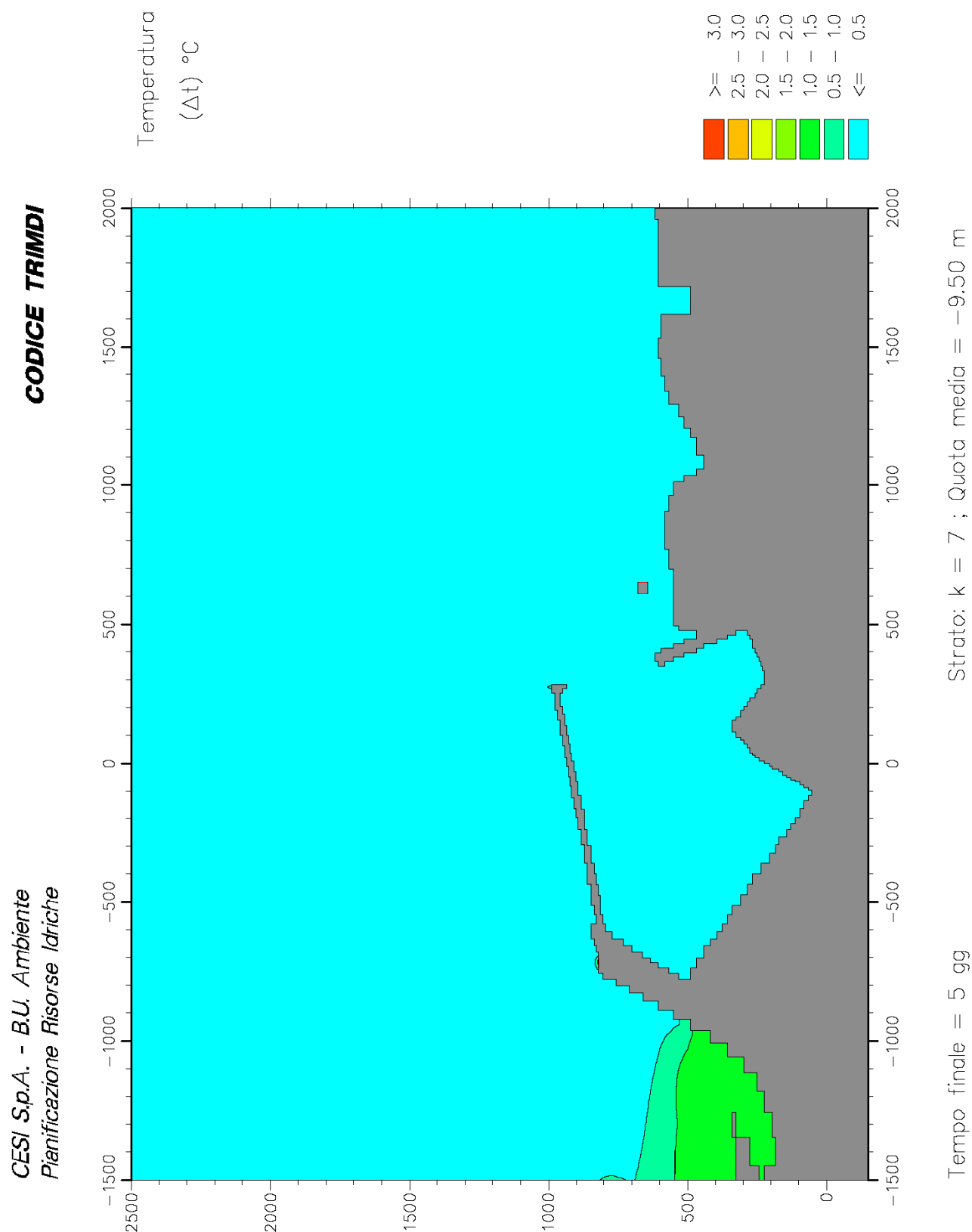


fig. 3.11 – Caso A2. Andamento della temperatura alla quota delle prese

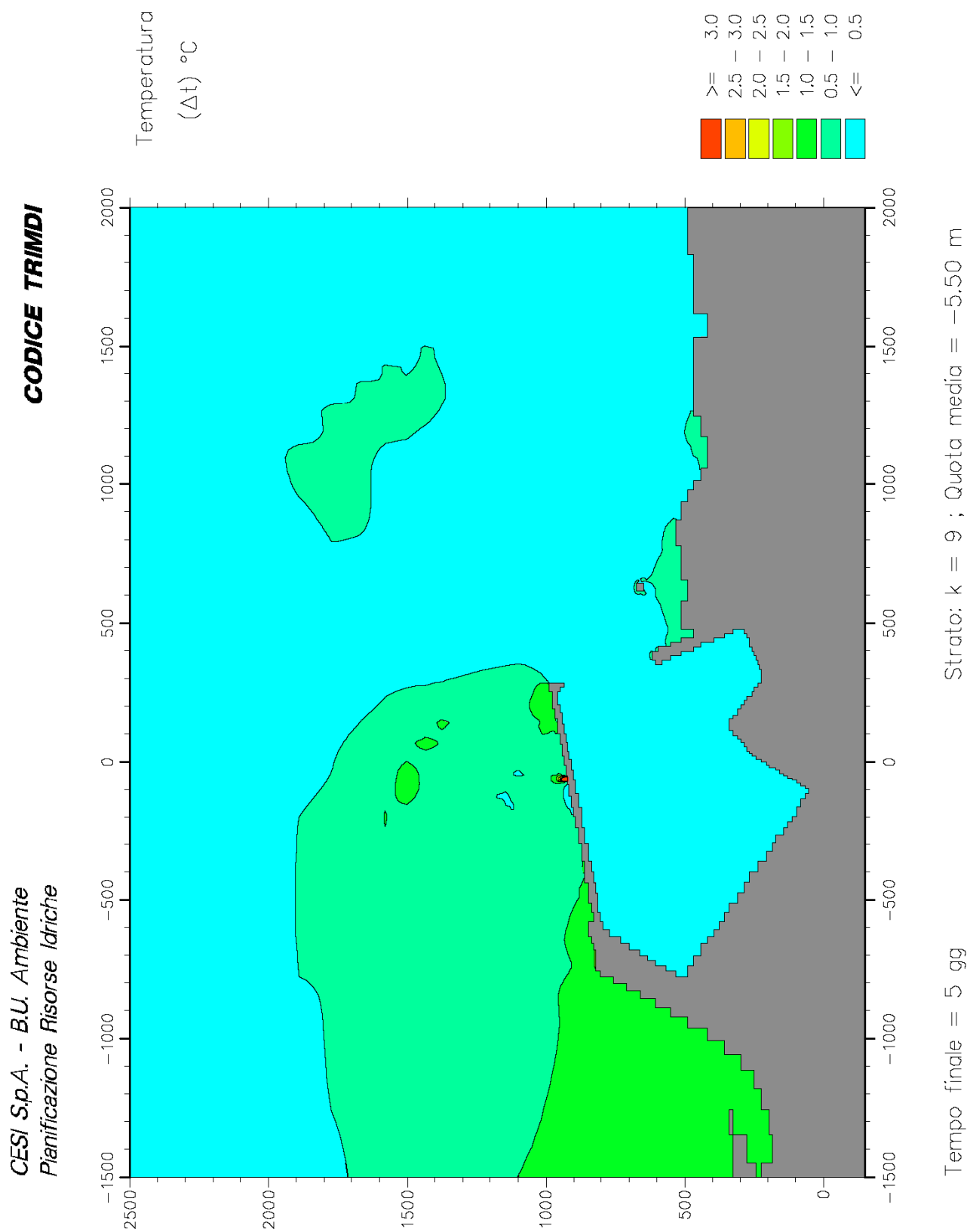


fig. 3.12 – Caso A2. Andamento della temperatura alla quota dello scarico TVS

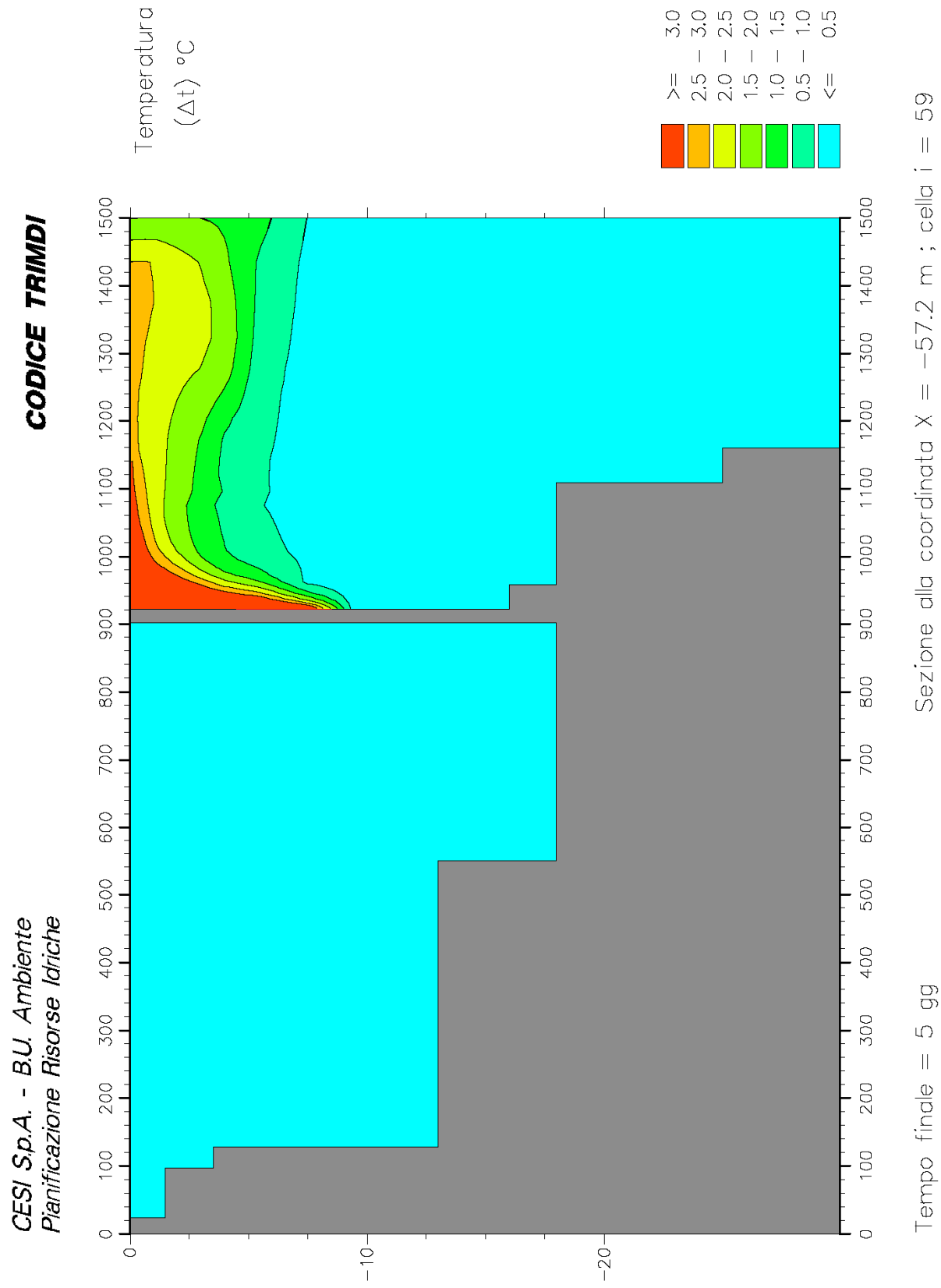


fig. 3.13 – Caso A2. Sezione verticale di temperatura in corrispondenza dello scarico TVS

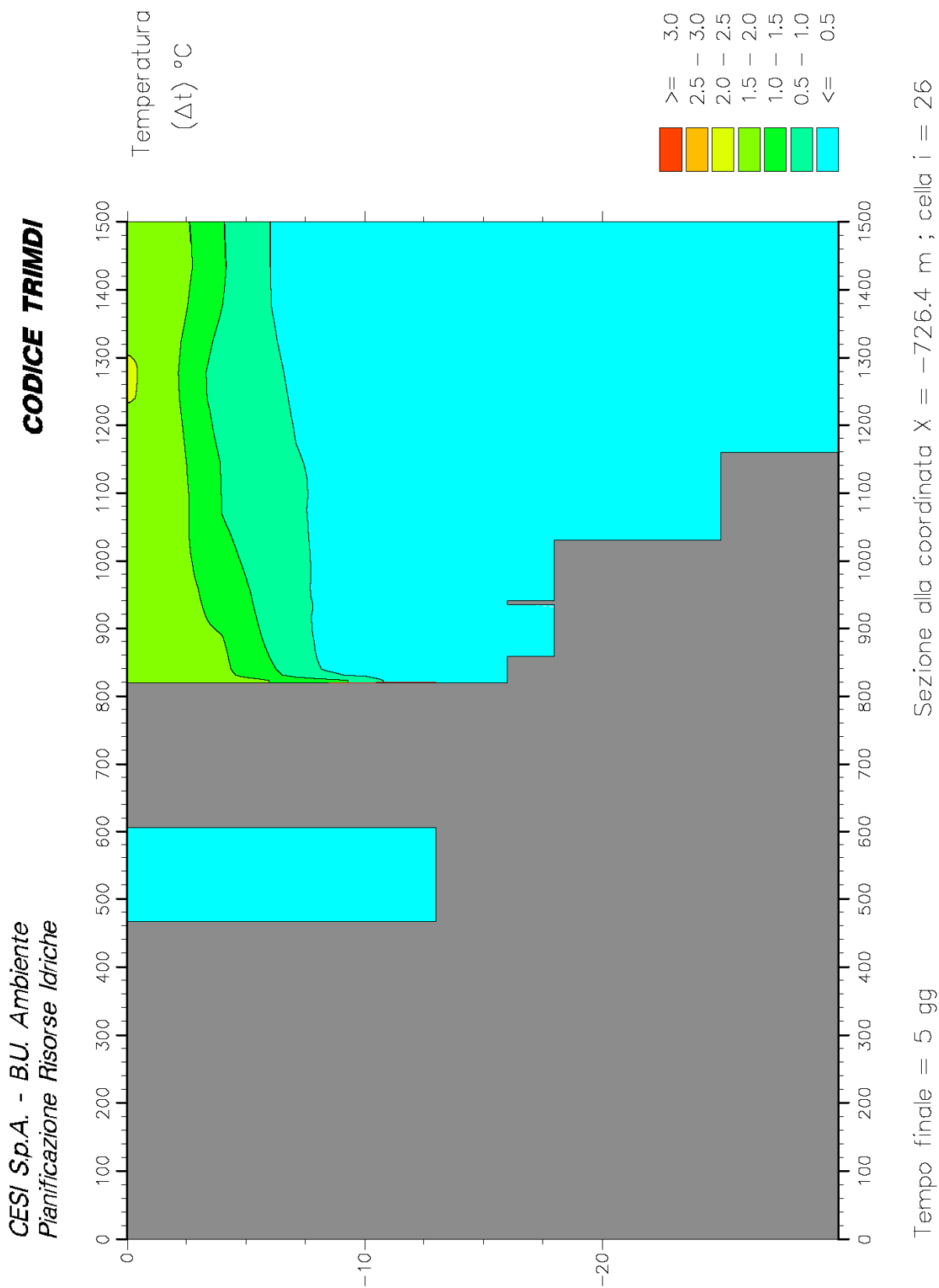


fig. 3.14 - Caso A2. Sezione verticale di temperatura in corrispondenza della presa TVS

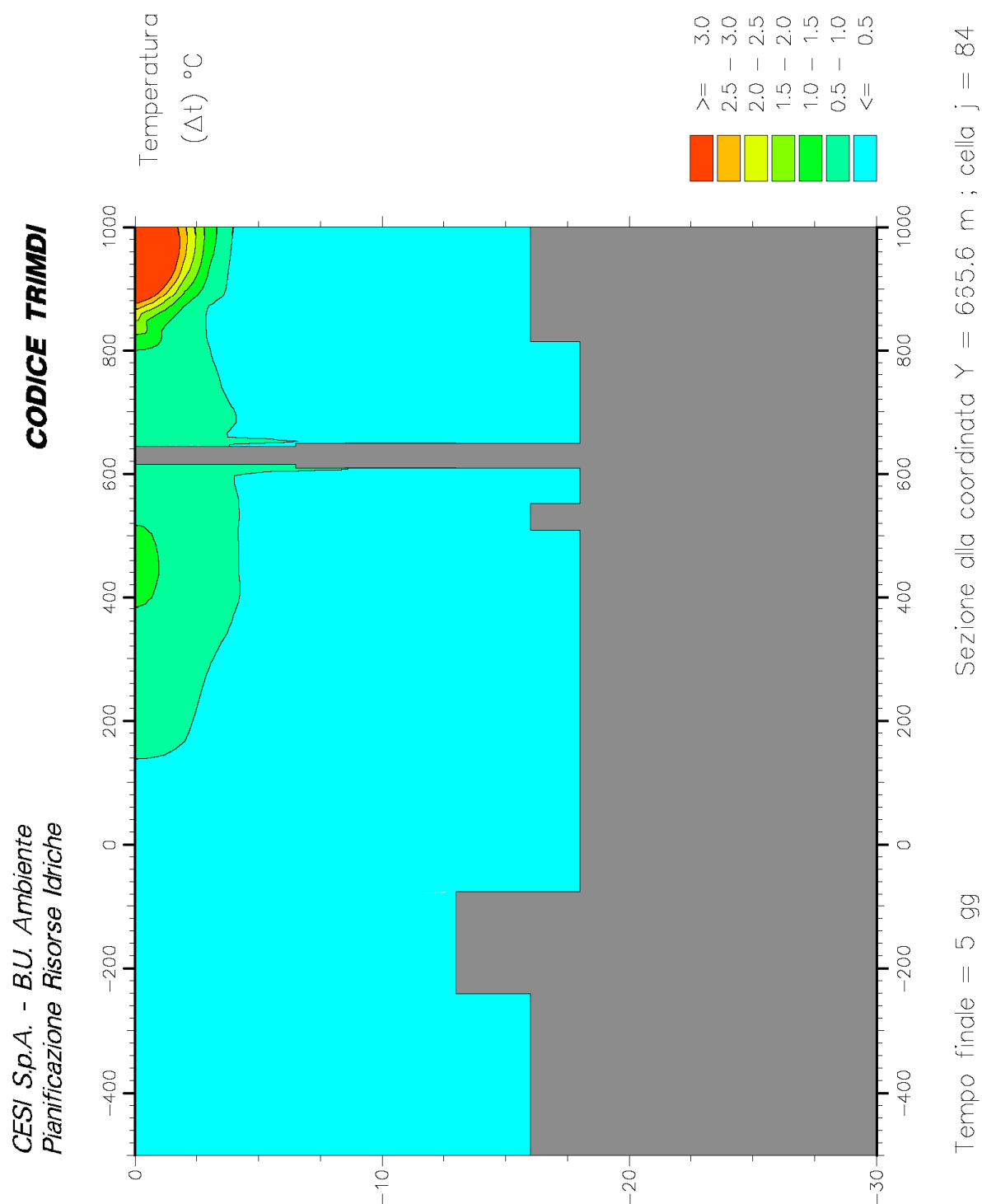


fig. 3.15 - Caso A2. Sezione verticale di temperatura in corrispondenza della presa TVN

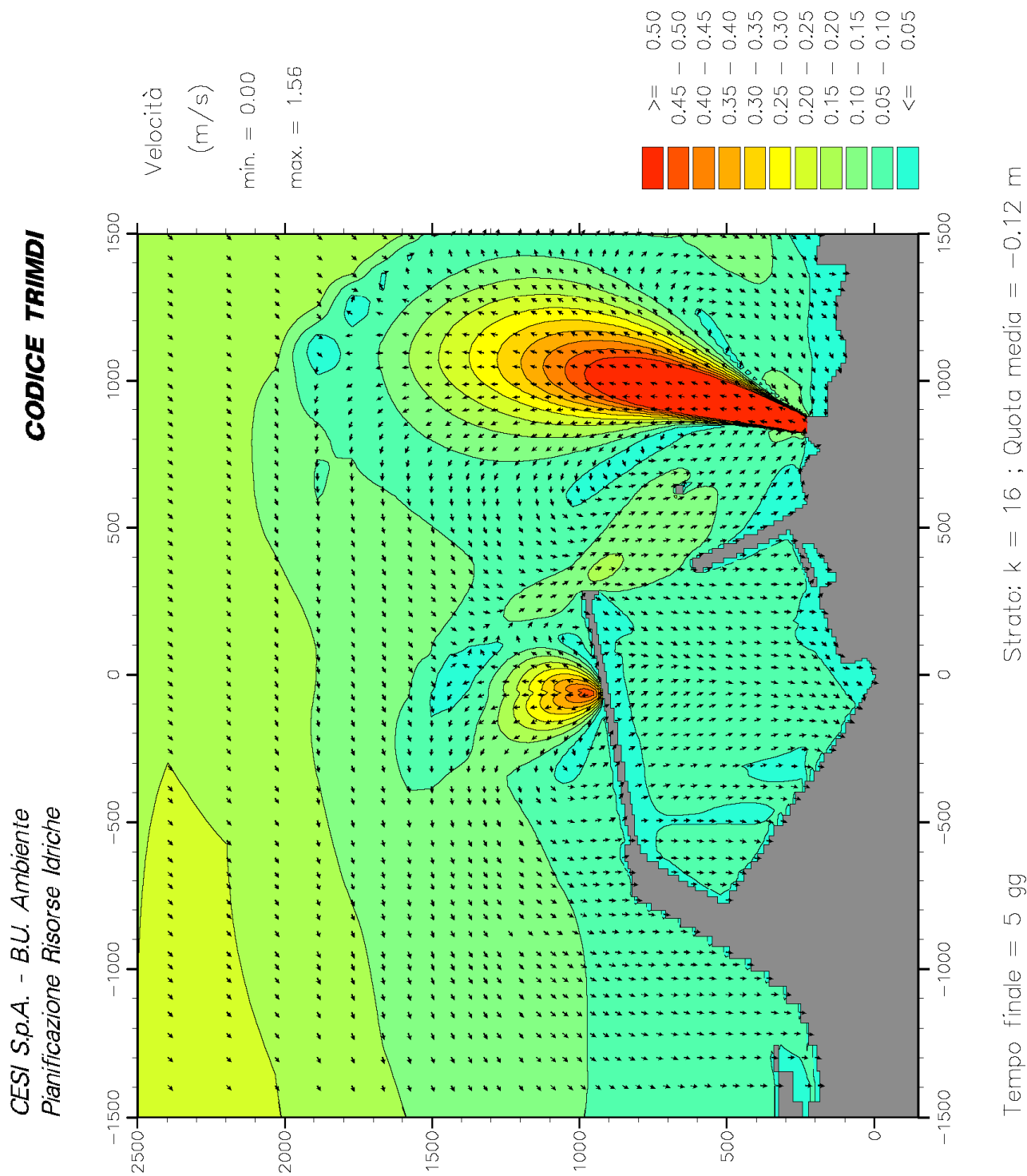


fig. 3.16 – Caso A2. Andamento del campo di velocità nello strato superficiale

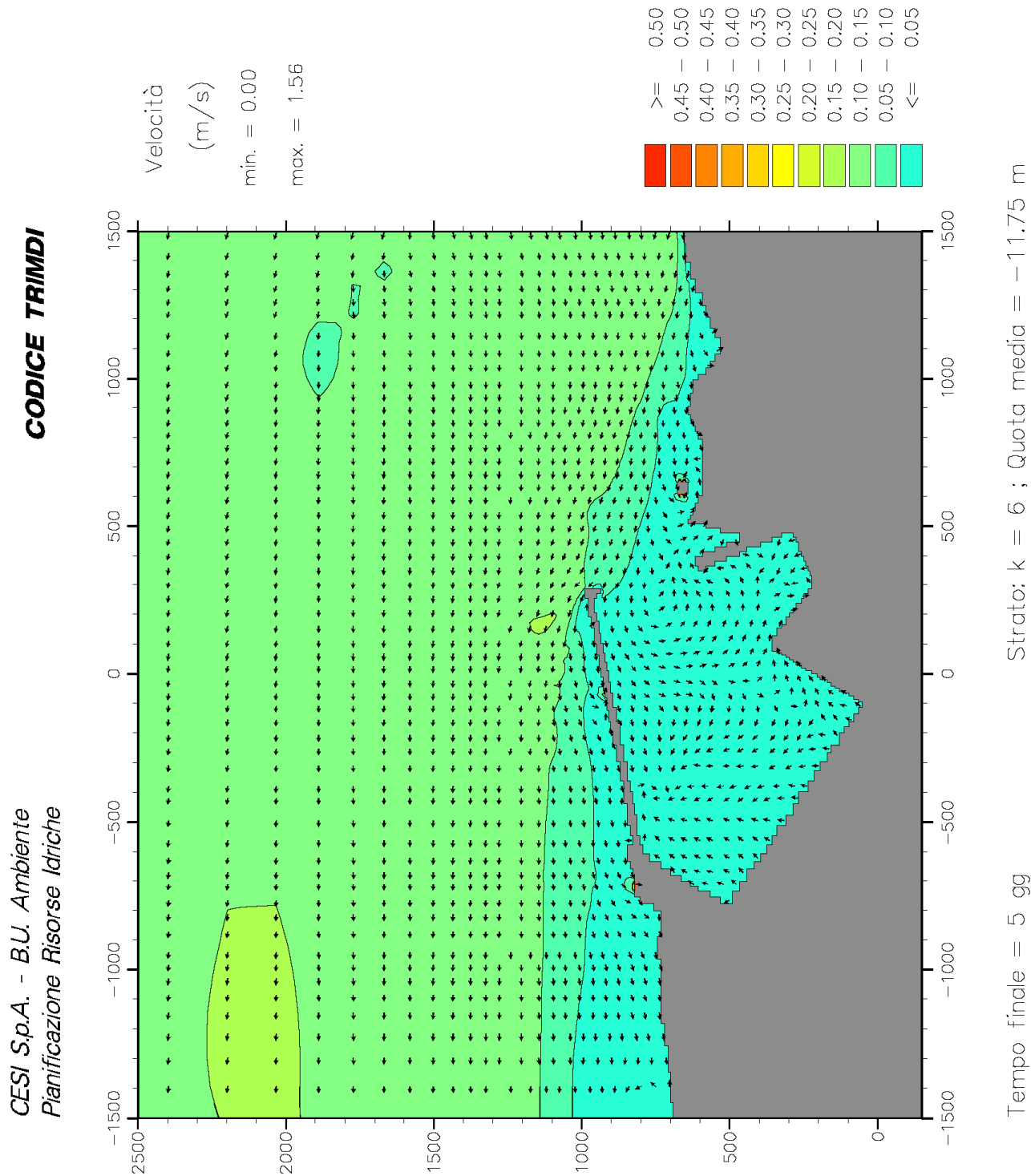


fig. 3.17 – Caso A2. Andamento del campo di velocità alla quota delle prese

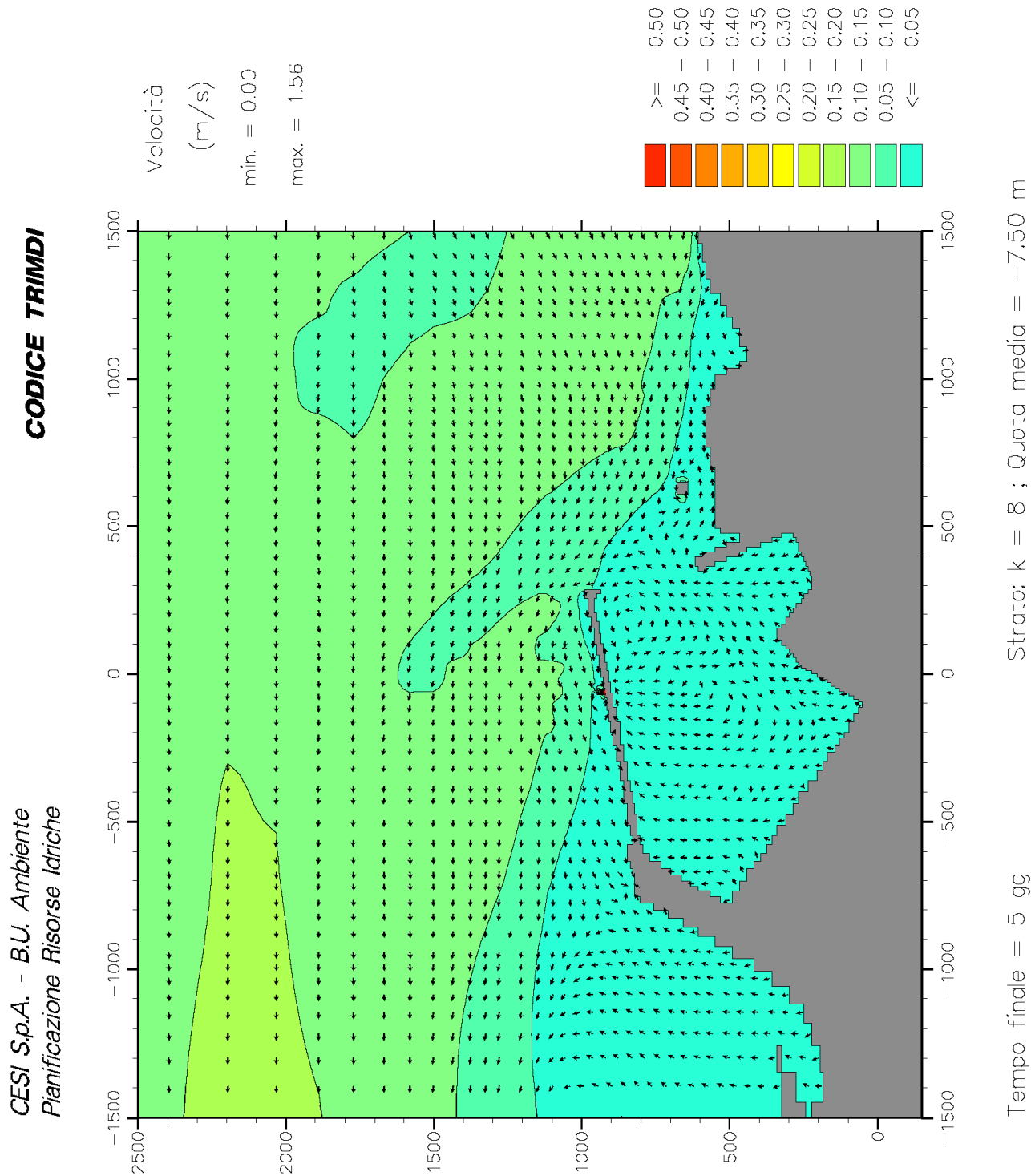


fig. 3.18 - Caso A2. Andamento del campo di velocità alla quota dello scarico TVS

3.2.3 Caso B1 con presa interna. Condizioni di vento da NW e di corrente diretta verso NW.

Tale caso è caratterizzato da condizioni invernali di temperatura, corrente ambientale di 0.1 m/s diretta verso NW, vento di intensità pari a 6 m/s, proveniente da NW e livello medio del mare; la frequenza di tali condizioni di vento è dell'ordine del 8%, e risulta essere una condizione critica in quanto il vento proveniente da questa direzione tende a spingere la porzione superficiale del pennacchio di Torrevaldaliga Nord verso la darsena, mentre contemporaneamente la corrente tende a spingere il pennacchio di Torrevaldaliga Sud verso la bocca di darsena. Essendo ora la presa posta entro la darsena stessa, ciò potrebbe causare la presenza di ricircolo.

Gli andamenti dei campi termico e di moto derivante dalla simulazione sono riportati nelle figure dalla fig. 3.19 alla fig. 3.27 per quanto attiene i principali aspetti di analisi, tenendo presente che in tali figure viene riportata solo la parte del reticolo di calcolo interessante la struttura della darsena ed i fenomeni di dispersione.

Le considerazioni preliminari che si possono trarre per questo caso, dall'esame delle figure e dei risultati della simulazione numerica, sono:

- poiché in questo caso gli effetti di vento e corrente agiscono in senso opposto, i pennacchi termici relativi sia allo scarico di Torrevaldaliga Nord che Sud nello strato superficiale tendono a diffondere verso il largo perpendicolarmente alla costa (fig. 3.19), mentre la corrente spinge comunque il pennacchio di Torrevaldaliga entro la darsena. Ciò fa sì che l'opera di presa Nord sia interessata a livello superficiale da acqua avente un sovrizzo termico dell'ordine anche di 1.5 °C circa, ma anche la nuova presa Sud, posta all'interno della darsena, potrebbe essere interessata dal pennacchio. Scendendo alla quota delle prese (fig. 3.20), si nota immediatamente l'assenza di qualsiasi perturbazione termica significativa nei pressi sia della presa Nord che di quella Sud, anche se si mantiene in darsena una sacca di acqua moderatamente calda ma a ridosso del molo di sopraflutto. L'esame di tale figura fa presumere l'assenza di ricircolo significativo alle prese;
- l'esame comparato della fig. 3.19, relativa al campo termico superficiale, e della fig. 3.21, relativa invece al campo termico alla quota media del nuovo scarico di Torrevaldaliga Sud, fa immediatamente notare come l'acqua calda scaricata si porti immediatamente alla superficie, per poi diffondere e raffreddarsi. Questo comportamento, oltre che alla naturale spinta al galleggiamento dovuta alla differenza di densità, è dovuto anche al valore relativamente basso della velocità di uscita e soprattutto all'inclinazione verso l'alto delle bocche di scarico; in questo caso, tuttavia, le condizioni sono tali da manifestare un maggiore spessore verticale di entrambi i pennacchi. Quanto detto in precedenza trova conferma nella fig. 3.22 e nella fig. 3.23, che mostrano rispettivamente una sezione verticale del nuovo scarico e della nuova presa di Torrevaldaliga Sud, in cui è possibile apprezzare anche il lieve riscaldamento della darsena in prossimità del lato interno del molo di sopraflutto;
- analogamente, la fig. 3.24 mostra la sezione verticale ortogonale all'opera di presa di Torrevaldaliga Nord, da cui è immediato vedere come l'effetto della aspirazione sia comunque tale da non innescare fenomeni di ricircolo;
- l'esame dell'andamento del pennacchio termico di Torrevaldaliga Nord nello strato superficiale (fig. 3.19) mostra un sovrizzo termico superiore ai 3 °C fino ad una distanza dallo scarico di poco superiore ai 900 m, ma il pennacchio di Torrevaldaliga Nord presenta un limitato spessore verticale, per cui non si prevedono criticità dal punto di vista dei limiti termici, mentre in ogni caso non si hanno problemi per lo scarico di Torrevaldaliga Sud. La

valutazione rigorosa dei limiti termici sarà comunque discussa in dettaglio nel successivo paragrafo;

- infine, le figure dalla fig. 3.25 alla fig. 3.27 sono relative al campo di velocità che si instaura rispettivamente nello strato superficiale, alla quota nel nuovo scarico ed alla quota delle prese. Si nota in generale l'effetto prevalente dei getti di scarico sulla corrente per una zona comunque limitata a qualche centinaio di metri davanti agli scarichi, ed i vortici creati in corrispondenza alle opere di presa dalla relativa aspirazione. Per quanto riguarda la darsena, poi, le condizioni meteomarine e l'effetto degli scarichi è tale da far sì che l'acqua di mare entra nella darsena in superficie (fig. 3.25) ed esce in profondità (fig. 3.26 e fig. 3.27).

Quanto sopra commentato porta a concludere che la situazione esaminata è di fatto accettabile dal punto di vista delle possibili condizioni di ricircolo, nonché dal punto di vista del rispetto dei limiti di legge.

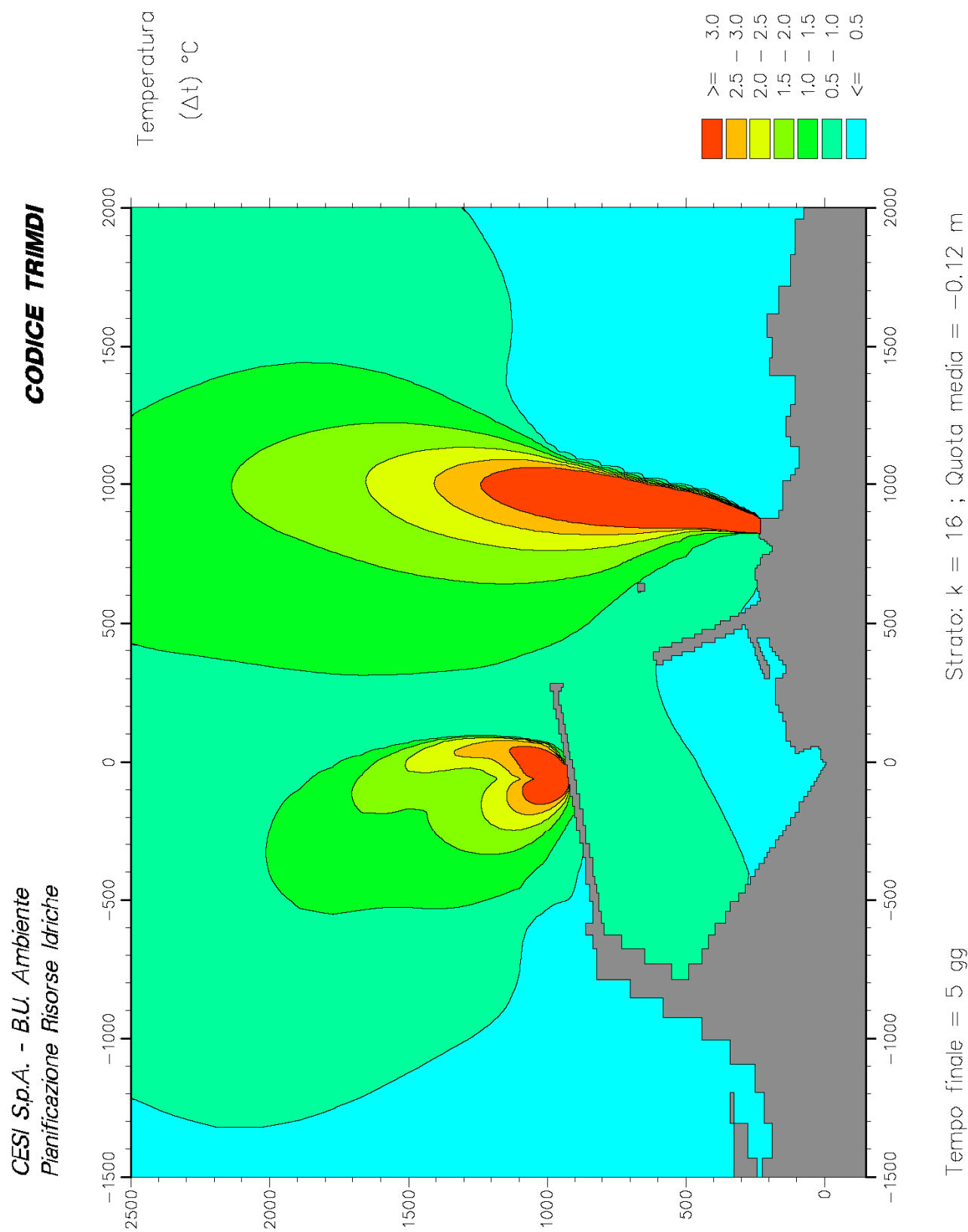


fig. 3.19 – Caso B1. Andamento della temperatura nello strato superficiale

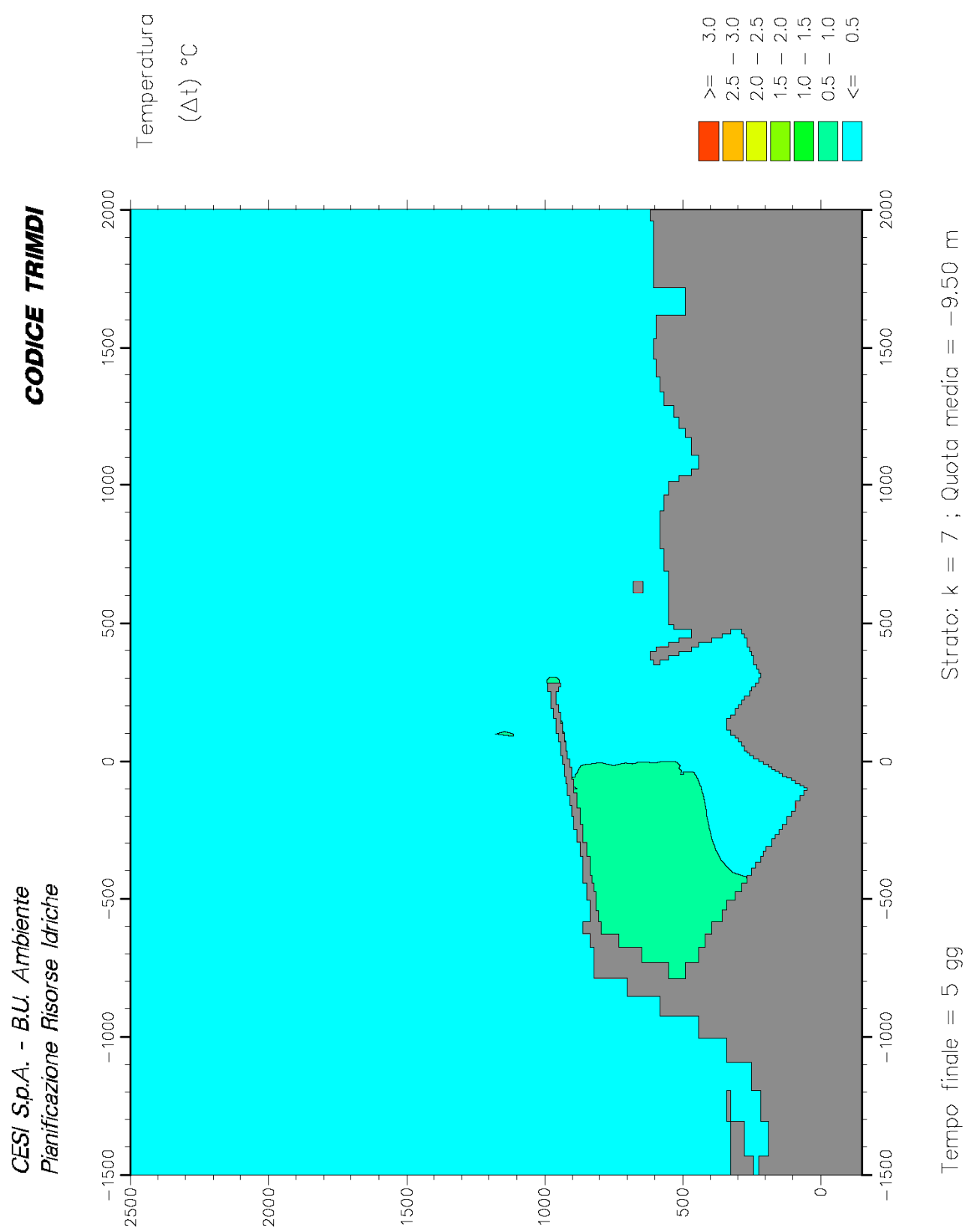


fig. 3.20 – Caso B1. Andamento della temperatura alla quota delle prese

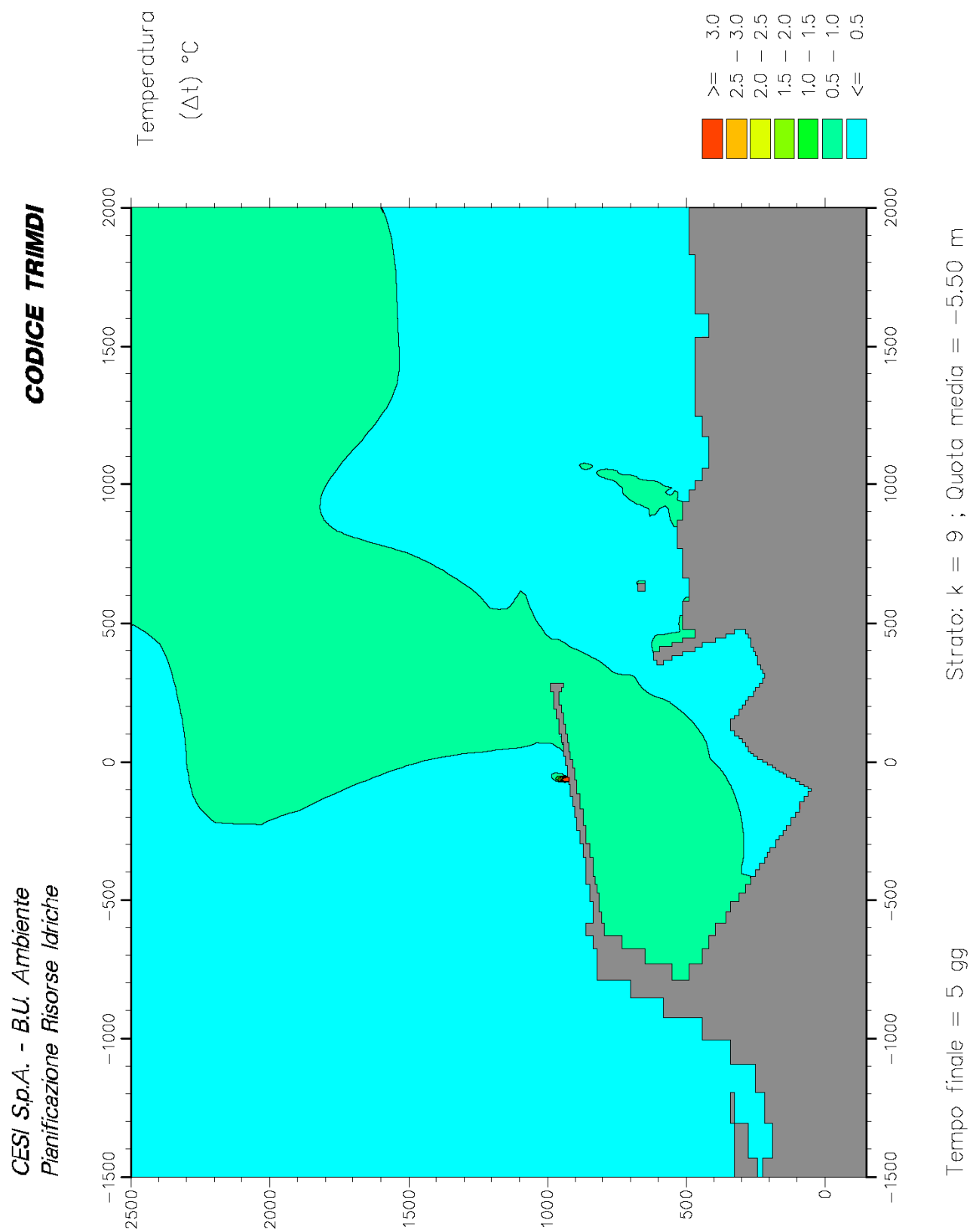


fig. 3.21 – Caso B1. Andamento della temperatura alla quota dello scarico TVS

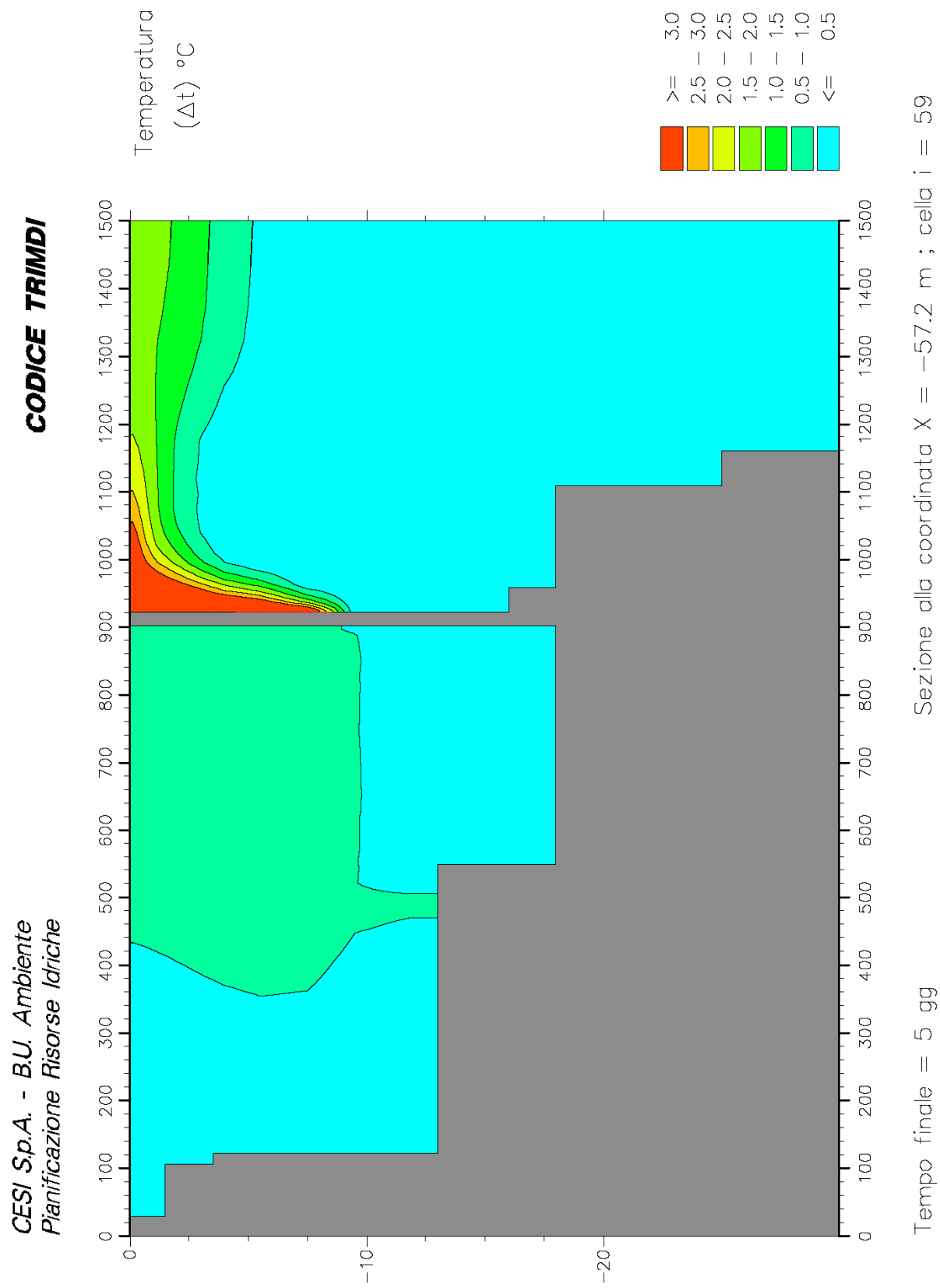


fig. 3.22 – Caso B1. Sezione verticale di temperatura in corrispondenza dello scarico TVS

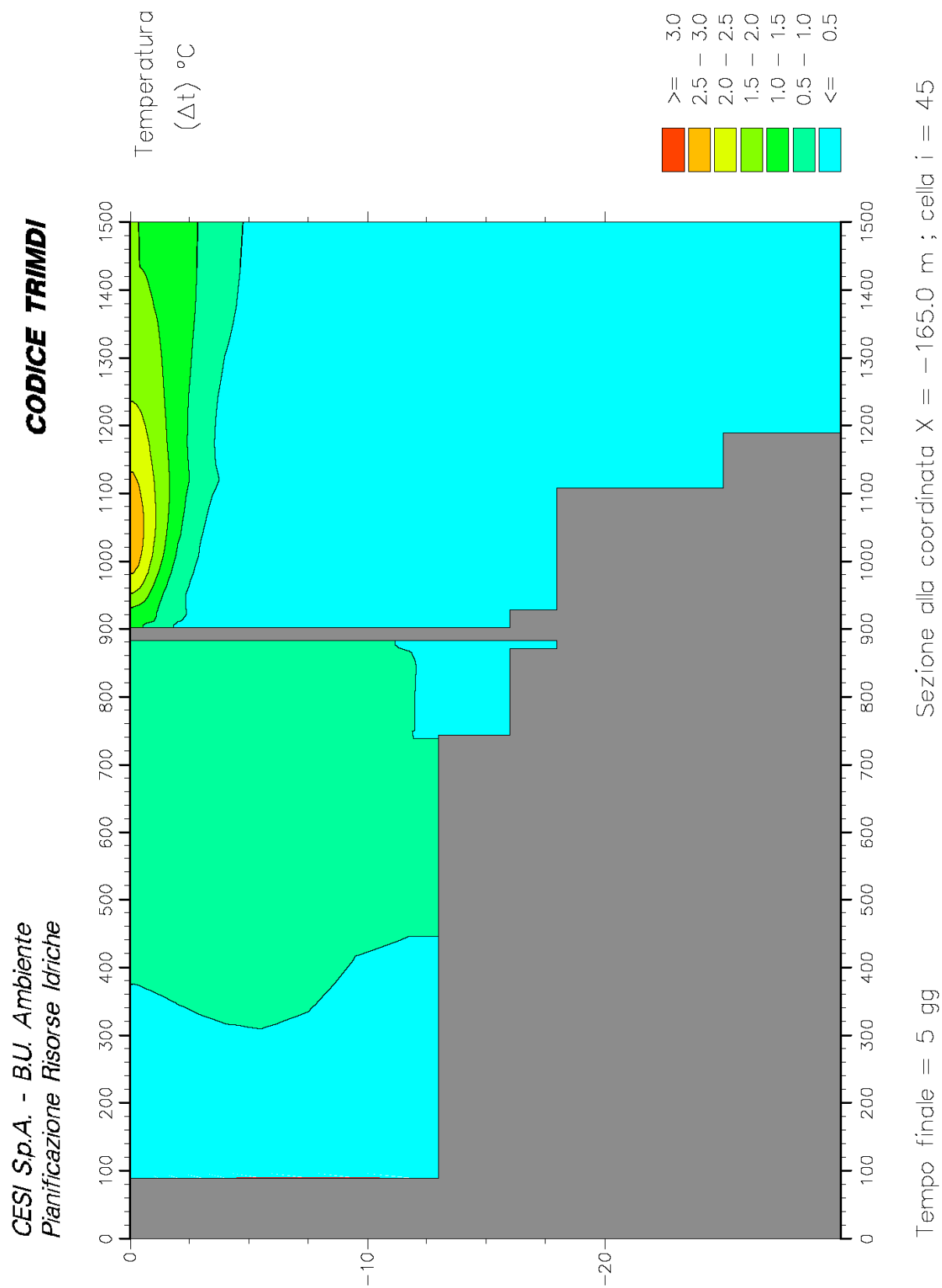


fig. 3.23 - Caso B1. Sezione verticale di temperatura in corrispondenza della presa TVS

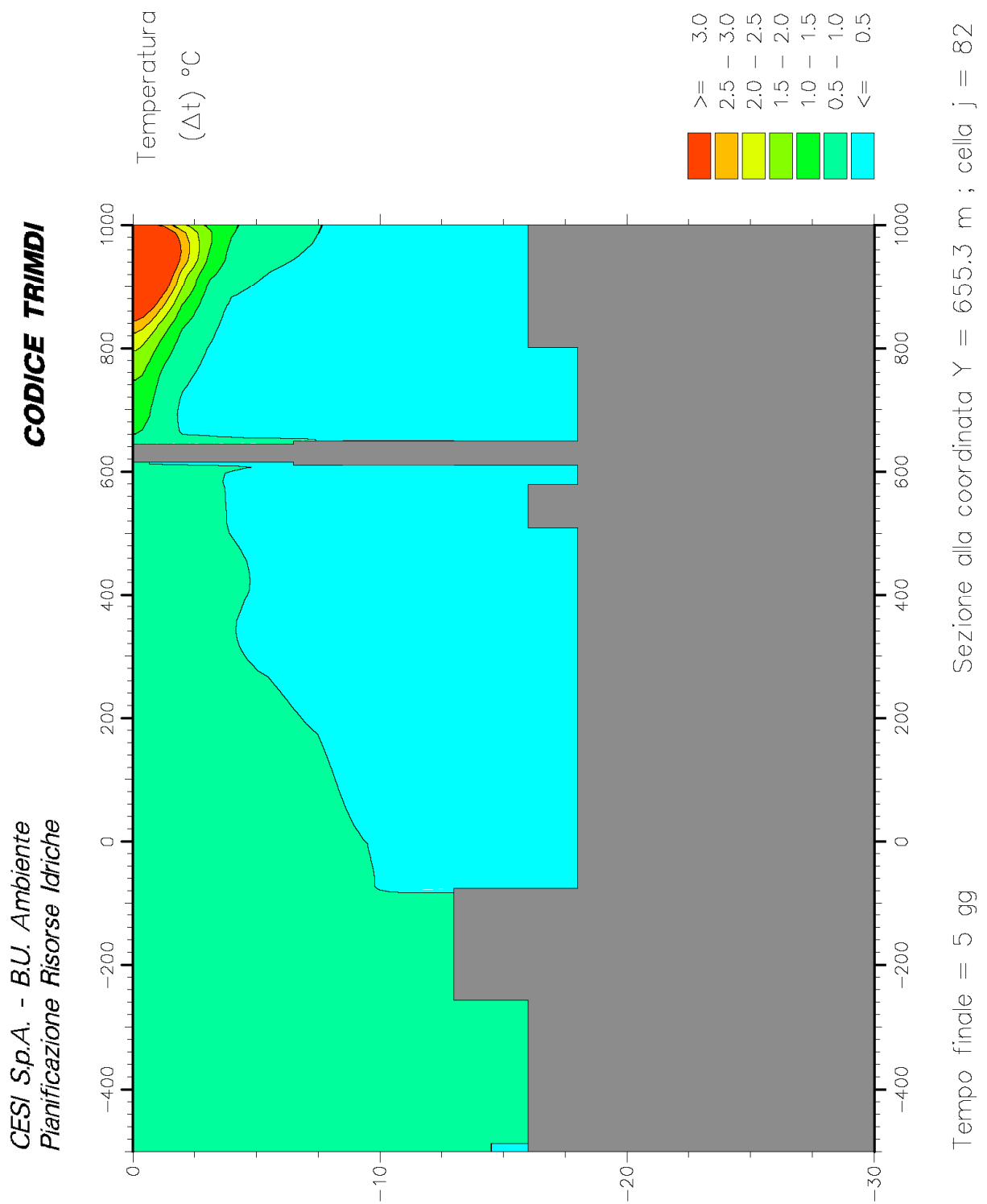


fig. 3.24 - Caso B1. Sezione verticale di temperatura in corrispondenza della presa TVN

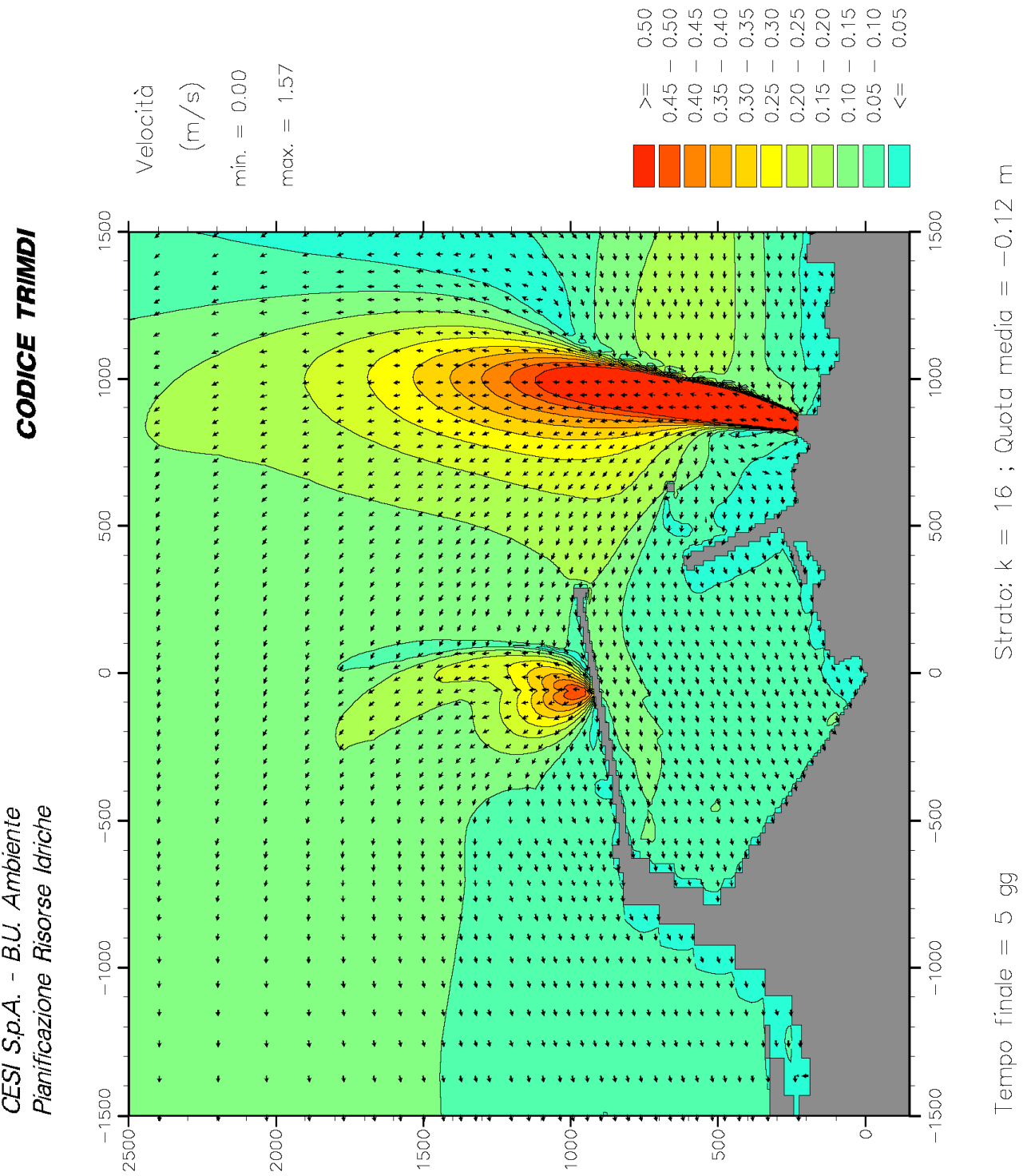


fig. 3.25 – Caso B1. Andamento del campo di velocità nello strato superficiale

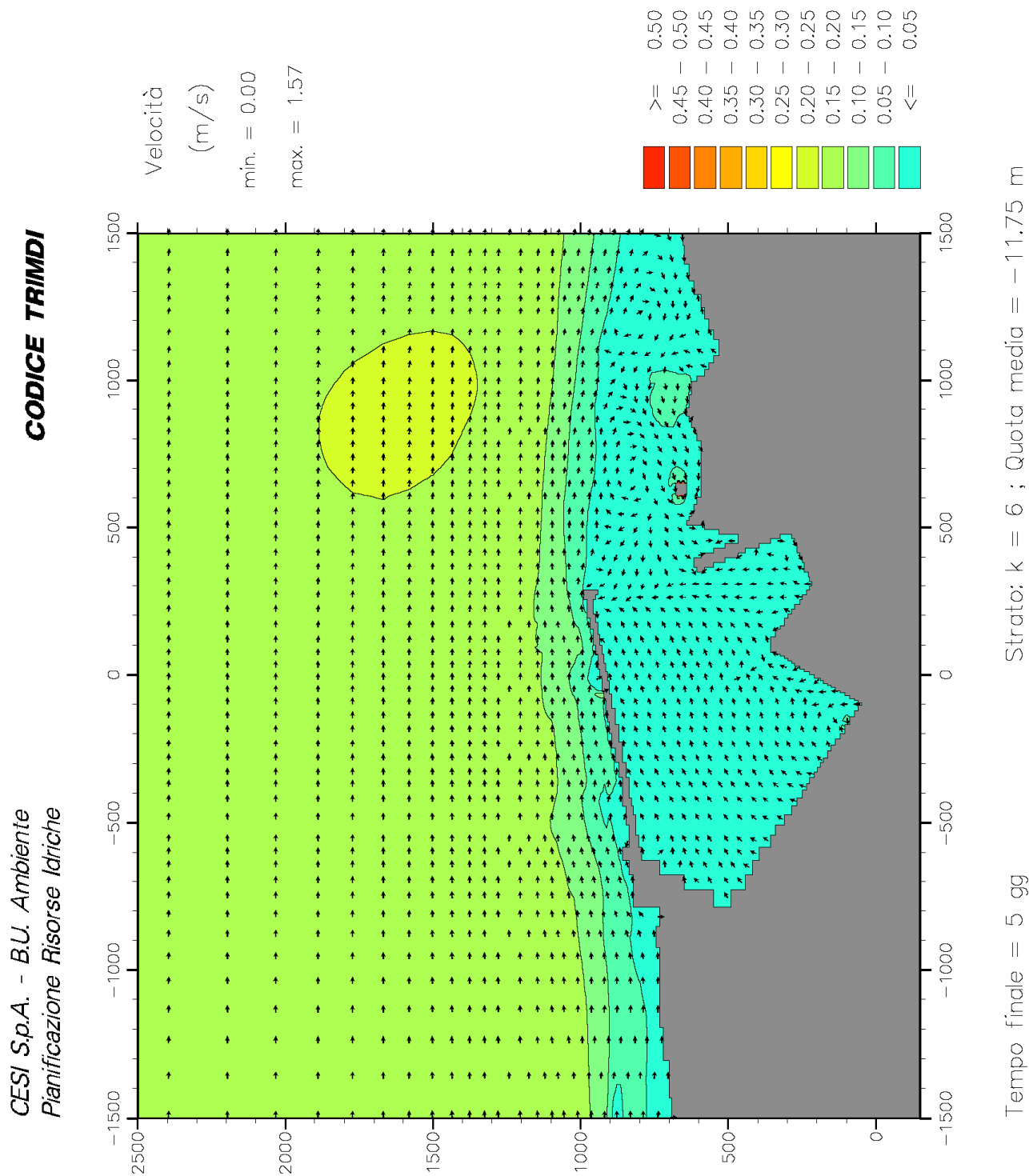


fig. 3.26 – Caso B1. Andamento del campo di velocità alla quota delle prese

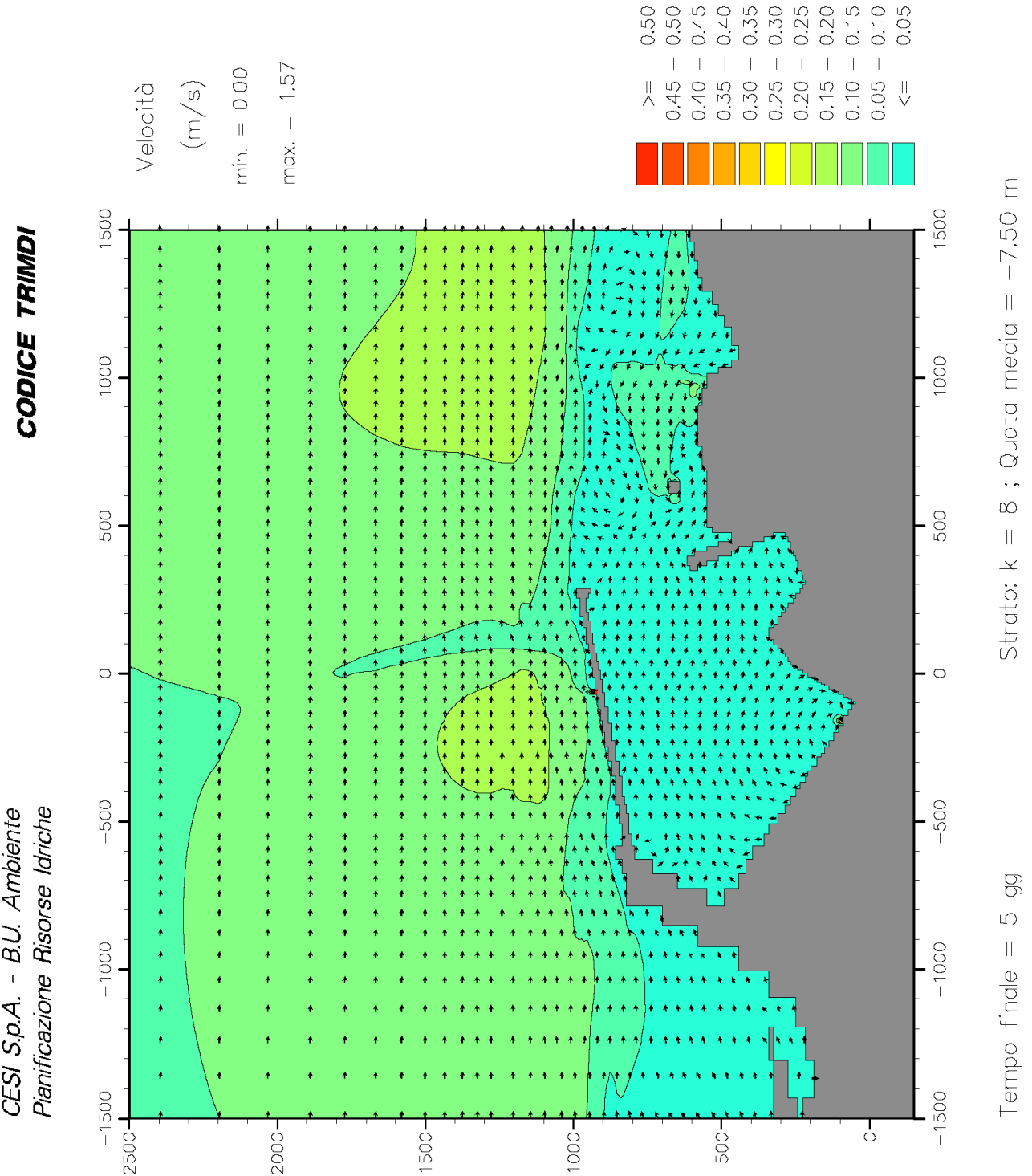


fig. 3.27 - Caso B1. Andamento del campo di velocità alla quota dello scarico TVS

3.2.4 Caso B2 con presa interna. Condizioni di calma di vento e di corrente verso NW.

Tale caso è caratterizzato da condizioni invernali di temperatura, corrente ambientale di 0.1 m/s diretta verso NW, in condizioni di calma di vento e livello medio del mare; la frequenza di tali condizioni di vento è dell'ordine del 20%, e risulta essere una condizione critica in quanto in queste condizioni ho scarso scambio superficiale, mentre contemporaneamente la corrente non impedisce l'allargamento del pennacchio di Torrevaldaliga Nord verso la bocca di darsena. Essendo ora la presa posta entro la darsena stessa, ciò potrebbe causare la presenza di ricircolo.

Gli andamenti dei campi termico e di moto derivante dalla simulazione sono riportati nelle figure dalla fig. 3.28 alla fig. 3.36 per quanto attiene i principali aspetti di analisi, tenendo presente che in tali figure viene riportata solo la parte del reticolo di calcolo interessante la struttura della darsena ed i fenomeni di dispersione.

Le considerazioni preliminari che si possono trarre per questo caso, dall'esame delle figure e dei risultati della simulazione numerica, sono:

- l'assenza di vento fa sì che l'influenza della corrente risulti prevalente, ma, per effetto della presenza del molo di sopraflutto, ciò avviene solo nella zona di mare oltre la darsena. Il pennacchio termico relativo allo scarico di Torrevaldaliga Sud nello strato superficiale piega infatti decisamente verso Nord (fig. 3.28), mentre il pennacchio di Torrevaldaliga Nord tende comunque a diffondere entro la darsena. Ciò fa sì che l'opera di presa Nord sia interessata a livello superficiale da acqua avente un sovrizzo termico dell'ordine di circa 1. °C, ma anche la nuova presa Sud, posta all'interno della darsena, potrebbe essere interessata dal pennacchio. Scendendo alla quota delle prese (fig. 3.29), si nota immediatamente l'assenza di qualsiasi perturbazione termica significativa nei pressi sia della presa Nord che di quella Sud;
- l'esame comparato della fig. 3.28, relativa al campo termico superficiale, e della fig. 3.30, relativa invece al campo termico alla quota media del nuovo scarico di Torrevaldaliga Sud, fa immediatamente notare come l'acqua calda scaricata si porti immediatamente alla superficie, per poi diffondere e raffreddarsi. Questo comportamento, oltre che alla naturale spinta al galleggiamento dovuta alla differenza di densità, è dovuto anche al valore relativamente basso della velocità di uscita e soprattutto all'inclinazione verso l'alto delle bocche di scarico, non ostacolate dalle condizioni meteomarine. Quanto detto in precedenza trova conferma nella fig. 3.31 e nella fig. 3.32, che mostrano rispettivamente una sezione verticale del nuovo scarico e della nuova presa di Torrevaldaliga Sud, in cui è possibile apprezzare anche il lieve riscaldamento della darsena;
- analogamente, la fig. 3.33 mostra la sezione verticale ortogonale all'opera di presa di Torrevaldaliga Nord, da cui è immediato vedere come l'effetto della aspirazione sia comunque tale da non innescare fenomeni di ricircolo;
- l'esame dell'andamento del pennacchio termico di Torrevaldaliga Nord nello strato superficiale (fig. 3.19) mostra un sovrizzo termico superiore ai 3 °C fino ad una distanza dallo scarico di poco superiore ai 1000 m, ma il pennacchio di Torrevaldaliga Nord presenta un limitato spessore verticale, per cui non si prevedono criticità dal punto di vista dei limiti termici, mentre in ogni caso non si hanno problemi per lo scarico di Torrevaldaliga Sud. La valutazione rigorosa dei limiti termici sarà comunque discussa in dettaglio nel successivo paragrafo;
- infine, le figure dalla fig. 3.34 alla fig. 3.36 sono relative al campo di velocità che si instaura rispettivamente nello strato superficiale, alla quota nel nuovo scarico ed alla quota delle prese. Si nota in generale l'effetto prevalente dei getti di scarico sulla corrente per una zona

comunque limitata a qualche centinaio di metri davanti agli scarichi, ed i vortici creati in corrispondenza alle opere di presa dalla relativa aspirazione. Per quanto riguarda la darsena, poi, le condizioni meteomarine e l'effetto degli scarichi è tale da far sì che la dinamica dell'acqua di mare che entra ed esce dalla darsena sia più complessa che non nelle situazioni precedentemente esaminate, con la presenza di vortici sia in superficie che in profondità, seppure con valori di velocità assai modesti.

Quanto sopra commentato porta a concludere che la situazione esaminata è di fatto accettabile dal punto di vista delle possibili condizioni di ricircolo, nonché dal punto di vista del rispetto dei limiti di legge.

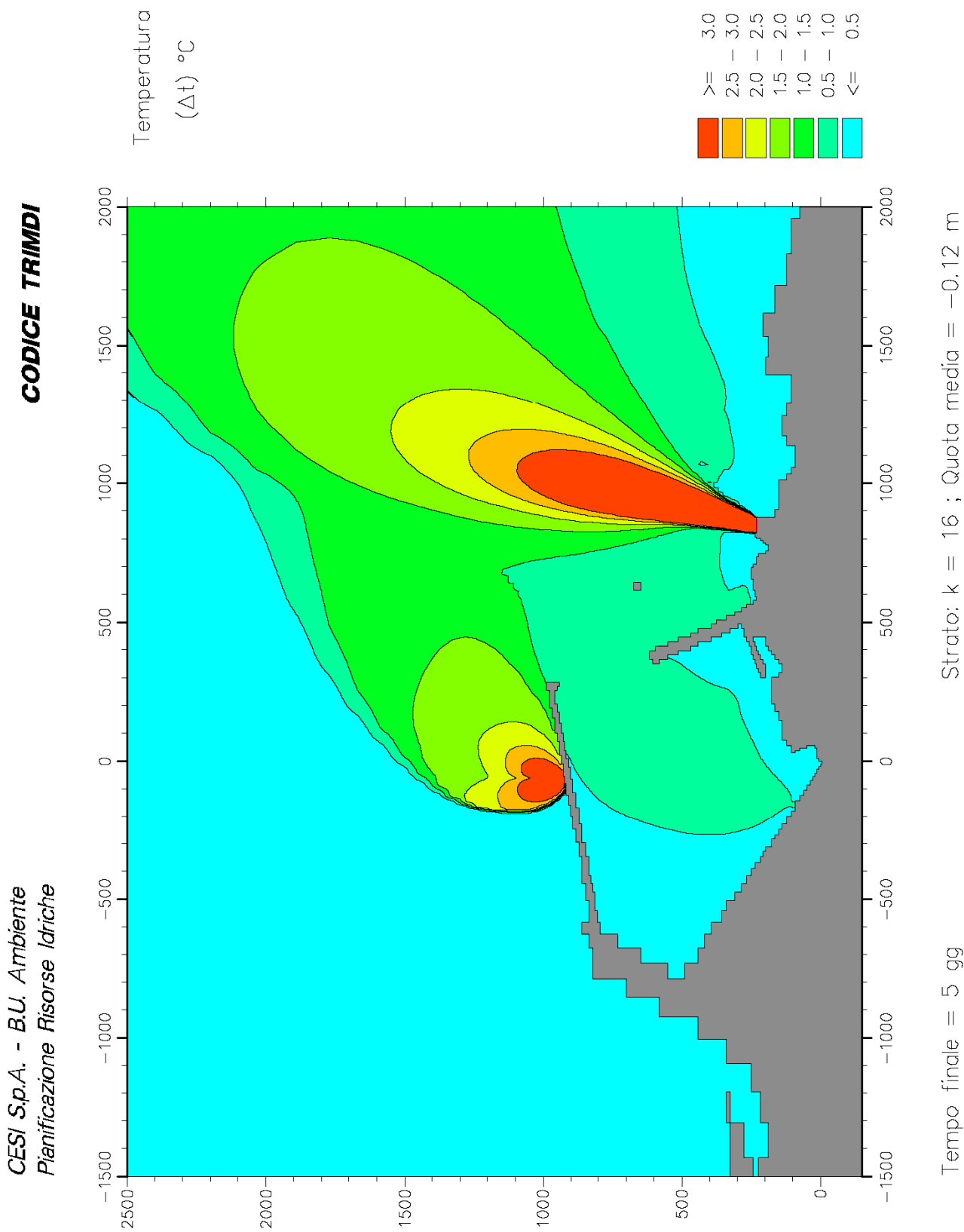


fig. 3.28 – Caso B2. Andamento della temperatura nello strato superficiale

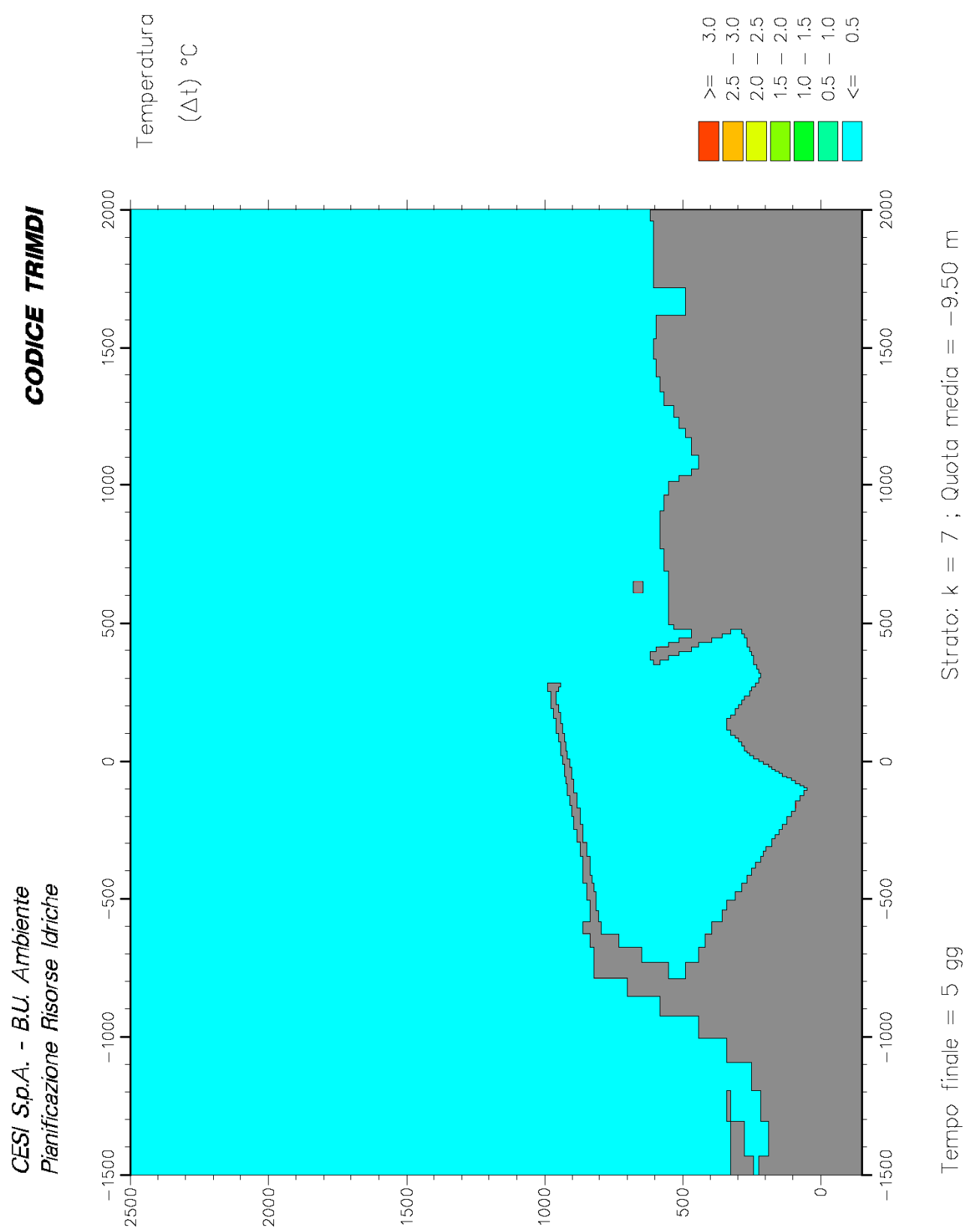


fig. 3.29 – Caso B2. Andamento della temperatura alla quota delle prese

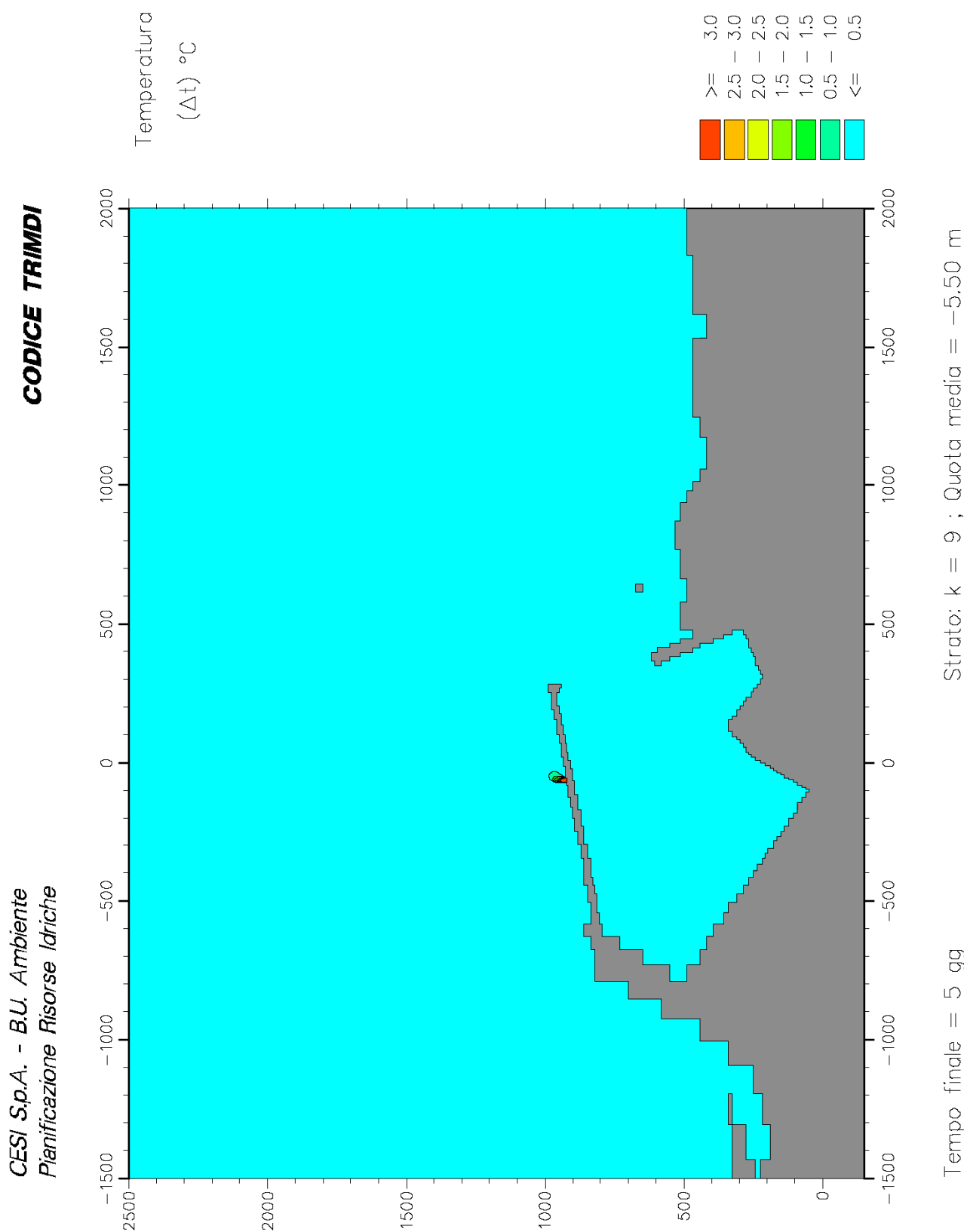


fig. 3.30 – Caso B2. Andamento della temperatura alla quota dello scarico TVS

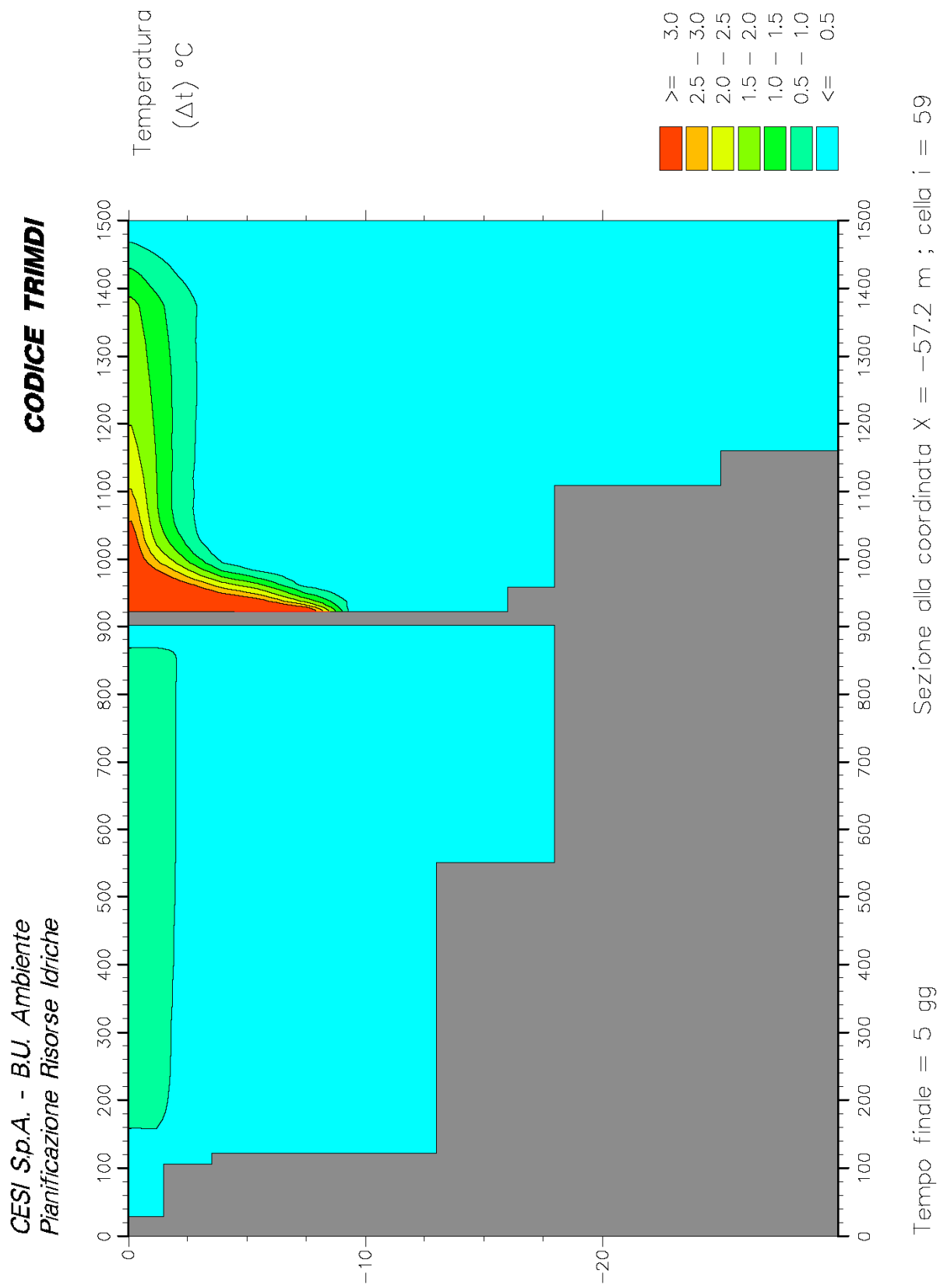


fig. 3.31 – Caso B2. Sezione verticale di temperatura in corrispondenza dello scarico TVS

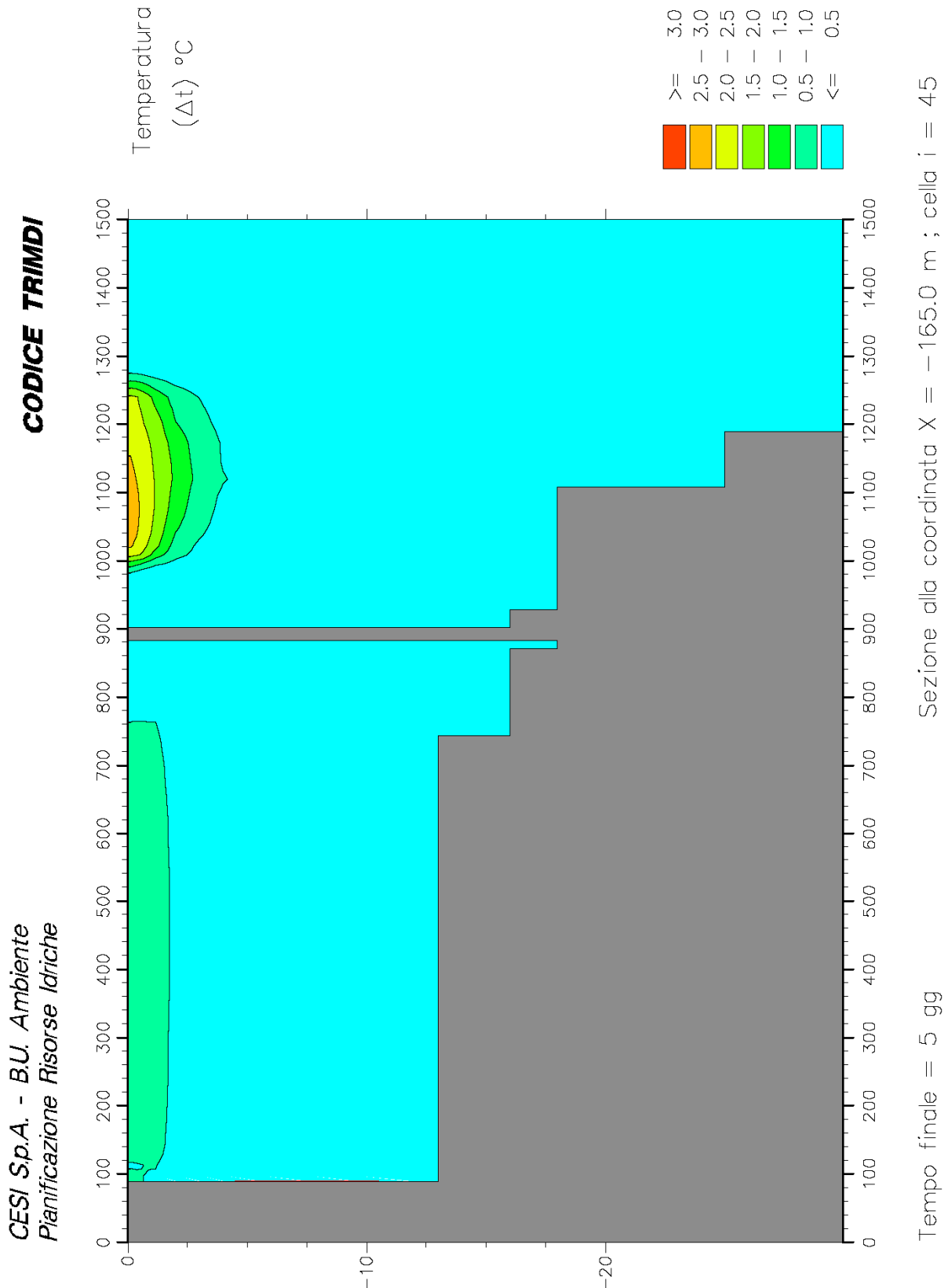


fig. 3.32 - Caso B2. Sezione verticale di temperatura in corrispondenza della presa TVS

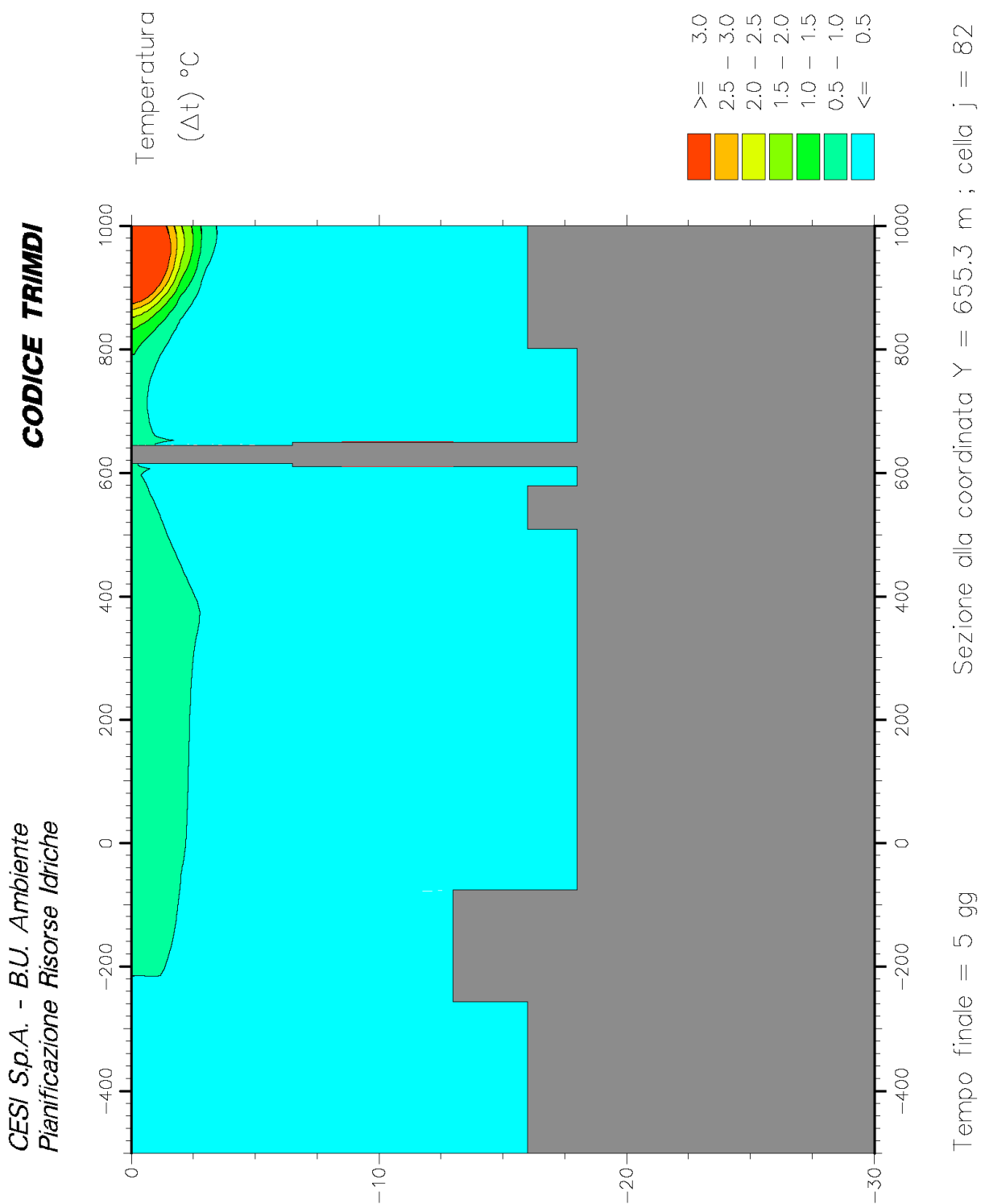


fig. 3.33 - Caso B2. Sezione verticale di temperatura in corrispondenza della presa TVN

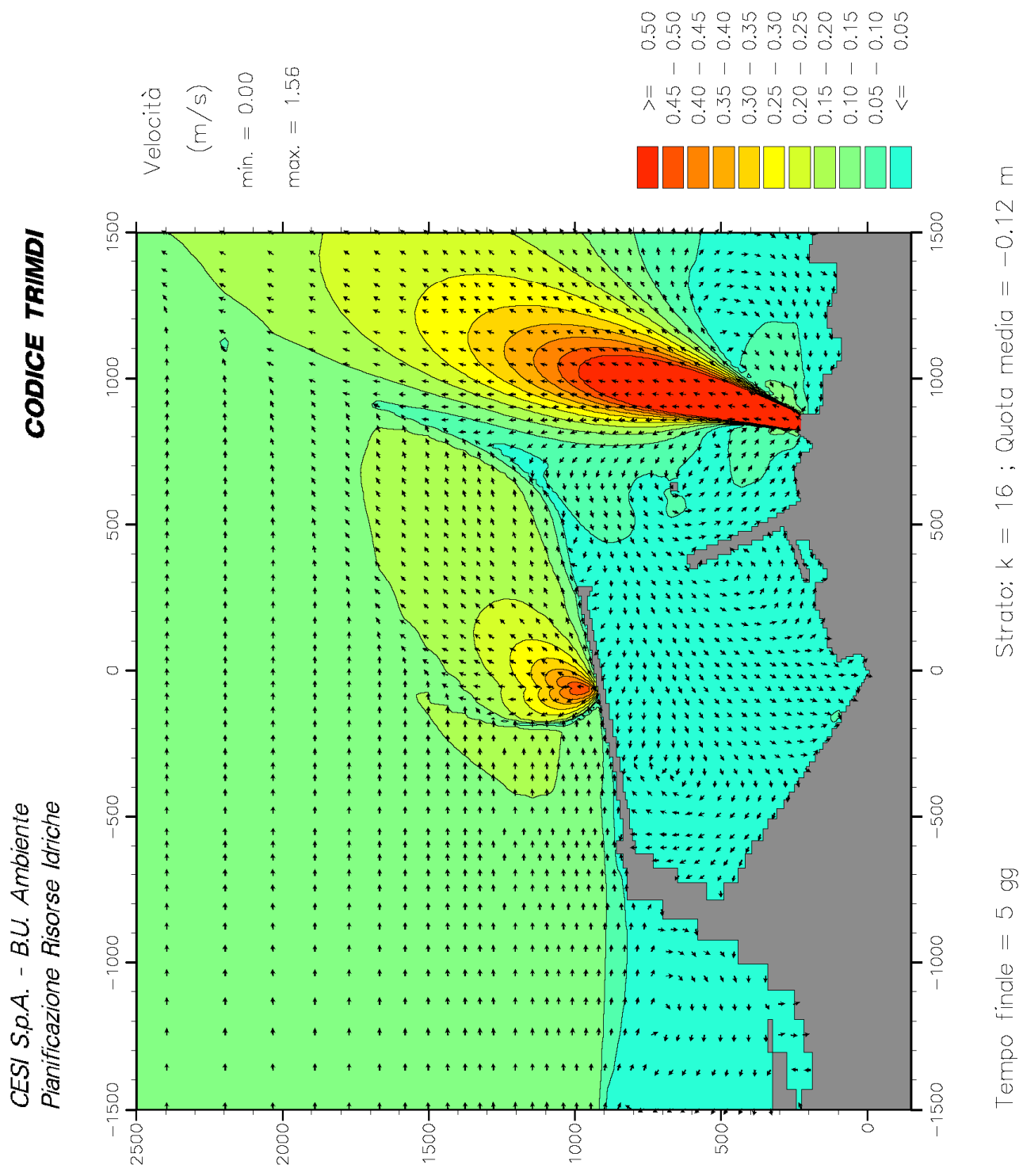


fig. 3.34 – Caso B2. Andamento del campo di velocità nello strato superficiale

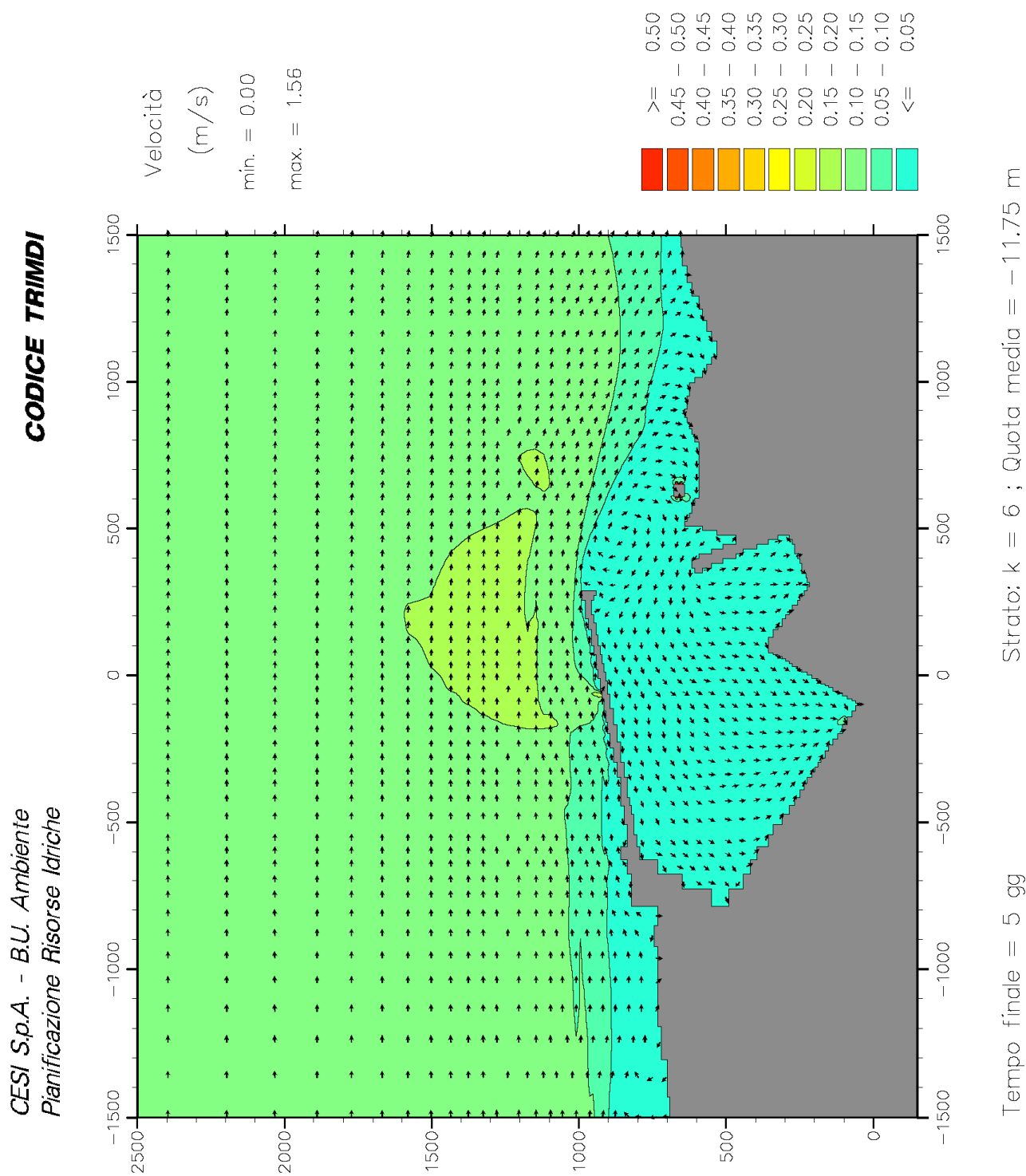


fig. 3.35 – Caso B2. Andamento del campo di velocità alla quota delle prese

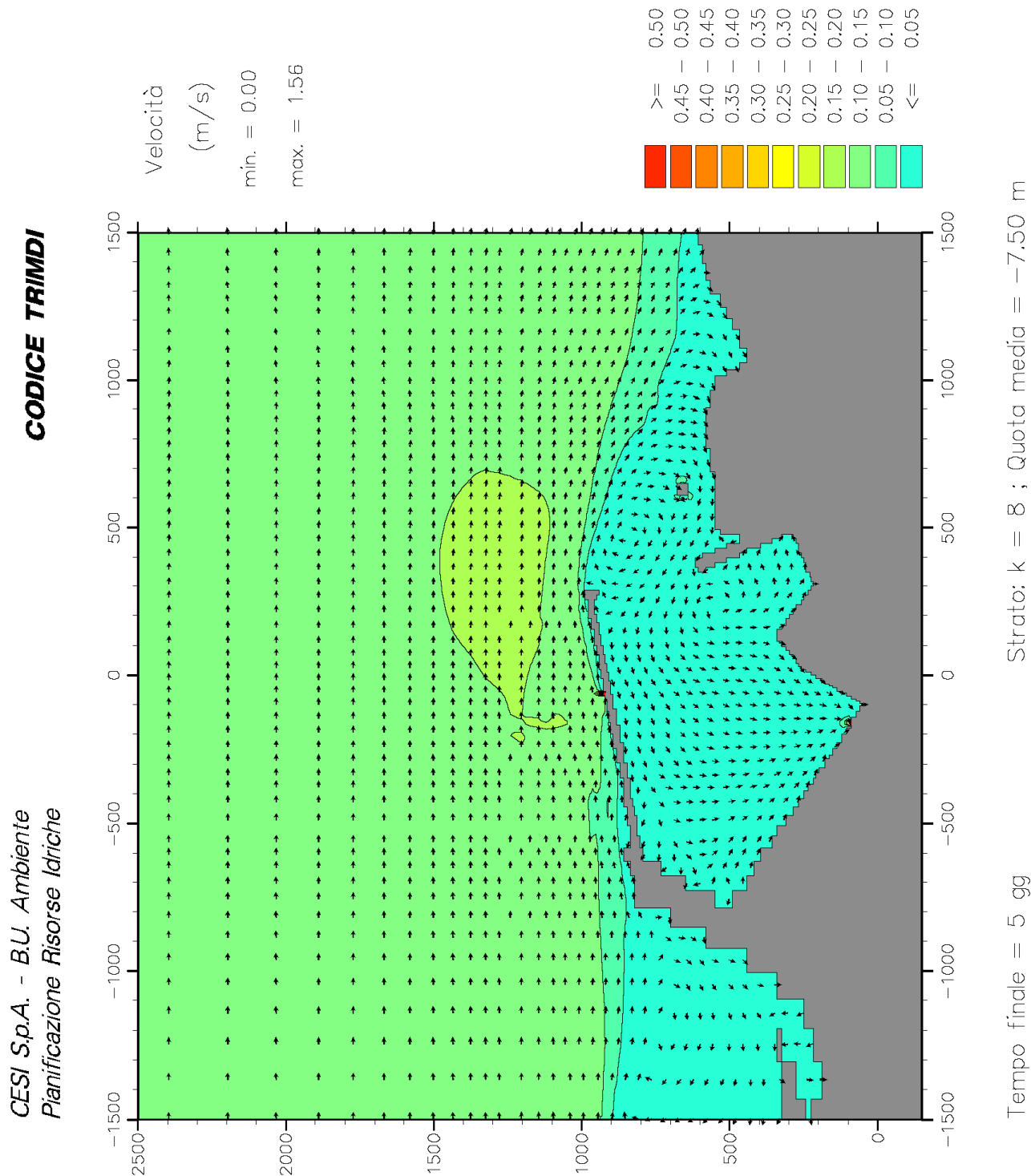


fig. 3.36 - Caso B2. Andamento del campo di velocità alla quota dello scarico TVS

3.3 Analisi dei flussi termici e dei limiti termici

Per meglio indagare le modalità con cui viene smaltito il calore sono state effettuate delle elaborazioni sui risultati ottenuti dal calcolo col fine di determinare i flussi termici nell'intero dominio di calcolo e l'eventuale ricircolo di acqua dagli scarichi alle prese.

Per quanto riguarda i bilanci termici, effettuati su tutto il dominio di calcolo, si è ottenuta la ripartizione dei flussi riportata nella tab. 3.1, nella quale appaiono le quote percentuali dei flussi termici che vengono dispersi verso i contorni e verso l'atmosfera. Inoltre sono anche riportate le quote di ricircolo termico, in termini percentuali, allo scopo di individuare potenziali situazioni critiche.

tab. 3.1 - Bilanci termici con ripartizione percentuale dei flussi.

Caso	Potenza termica scaricata (MW)			Ricircolo Scarico presa TVS %	Ricircolo scarico presa TVN %	Contorno %	Atmosfera %
	A	B	C				
A1	1157.03	3120.18	4277.21	0.48	1.69	94.3	5.7
A2	1157.03	3120.18	4277.21	2.47	2.63	89.8	10.2
B1	1157.03	3120.18	4277.21	1.95	2.33	84.9	15.1
B2	1157.03	3120.18	4277.21	0.98	0.93	94.2	5.8

A - Potenza termica scaricata dallo scarico TVS ;

B - Potenza termica scaricata dallo scarico TVN;

C - Potenza termica totale scaricata

La somma delle colonne relative al contorno ed all'atmosfera è relativa al flusso di calore totale che lascia il sistema e quindi corrisponde al calore totale immesso nel sistema dagli scarichi; le percentuali riportate nelle colonne relative al ricircolo delle prese rappresentano la frazione del calore immesso che rimane nel sistema per effetto del ricircolo stesso.

Per quanto riguarda il ricircolo di acqua dagli scarichi alle prese, si nota in talune situazioni la presenza di una alterazione sia alla nuova presa TVS che in minor misura in corrispondenza della presa TVN. In particolare, il valore del sovrizzo termico medio alle prese è riportata nella seguente tab. 3.2.

tab. 3.2 - Alterazione termica valutata alle prese.

Caso	ΔT [°C] alla presa TVS	ΔT [°C] alla presa TVN
A1	0.11	0.18
A2	0.55	0.28
B1	0.44	0.24
B2	0.22	0.10

L'analisi dei valori in tabella pone in evidenza due situazioni di possibile ricircolo sulla nuova presa di Torrevaldaliga Sud; la prima quando questa è posta all'esterno del molo e quando le condizioni di vento e di corrente, sono relative ad un vento persistente da SW e ad una corrente diretta verso SE, cioè un vento diretto verso costa e che tende ad ostacolare, almeno in superficie, la dispersione al largo del pennacchio, rallentandone la dinamica. La seconda situazione critica è quando la presa è posta all'interno della darsena e quando condizioni di vento e di corrente, sono relative ad un vento persistente da NW e ad una corrente diretta verso NW, cioè un vento contrapposto alla corrente e che tende ad ostacolare, almeno in superficie, la dispersione al largo del pennacchio, rallentandone la dinamica e consentendo un parziale ingresso di acqua calda in darsena.

Premesso che l'entità valutata per tali situazioni di ricircolo è al massimo dell'ordine di 0.55 °C, e che la valutazione è fatta in condizioni stazionarie, cioè di persistenza delle condizioni per un certo numero di ore sufficienti a stabilizzare il pennacchio, occorre a questo punto stimare, sulla base delle frequenze statistiche di vento e di corrente e dell'andamento delle temperature, quanto effettivamente le condizioni simulate siano di fatto conservative. A questo proposito, l'analisi dei dati di vento di fig. 2.12 mostra che la prima condizione, caratterizzata da vento mediamente da SW con intensità pari o superiore a 6 m/s, ha una media annuale di circa il 6 %, corrispondente a circa 21 giorni all'anno, mentre la seconda condizione, caratterizzata da vento da NW con intensità pari o superiore a 6 m/s, ha una media annuale di circa il 10 %, corrispondente a circa 36 giorni all'anno.

3.4 La valutazione del sovrarzo termico a 1000 m

La normativa di legge vigente [6] prevede un limite massimo di + 3 °C di sovrarzo termico rispetto alla temperatura ambientale valutato su un arco di raggio 1000 m a partire dal punto di scarico, oltre al limite assoluto di 35 °C nel punto di scarico stesso. Il regolamento attuativo [7] prevede che tale limite sia verificato in una serie di punti di misura lungo l'arco, a distanza di 5° l'uno dall'altro, effettuando la media delle misure di temperatura sulla colonna d'acqua di profondità 3 m alle quote di -0.1, -1.5 e -3 m. Il valore di sovrarzo termico viene stabilito per differenza tra tale temperatura media e la media tra le temperature valutate nei tre punti di misura più freddi lungo l'arco.

Allo scopo di valutare il rispetto di tali limiti nella situazione di scarico conseguente alla presenza della nuova darsena e delle relative opere a mare, si è calcolato l'andamento del sovrarzo termico sull'arco a 1000 m dagli scarichi, partendo dai risultati ottenuti dalla simulazione di ciascuno dei casi considerati. Facendo pertanto riferimento allo scarico di Torrevaldaliga Nord, è stato considerato l'arco di raggio 1000 m di fig. 3.37 , comprendente anche la darsena, e sono stati calcolati i valori di sovrarzo termico secondo la metodologia prima citata.

In tab. 3.3, tab. 3.4, tab. 3.5 e tab. 3.6 sono inclusi i valori calcolati sull'arco, con l'indicazione del punto caldo (C), dei tre punti più freddi (F1,F2,F3), del valore di temperatura media imperturbata sui punti freddi Tm e della sua deviazione standard (2SF). Vengono poi riportati l'incremento termico sull'intero arco e quello calcolato escludendo i punti che cadono entro la darsena, supponendo cioè che il molo di sopraflutto sia considerato alla stregua di un tratto di costa. Ciascuna tabella riporta poi l'andamento grafico del sovrarzo termico lungo l'arco a 1000 m, e gli andamenti dei valori calcolati alle profondità di -0.1, -1.5 e -3 m.

Si possono fare immediatamente alcune constatazioni:

- la considerazione dell'arco consente di affermare che in nessuna situazione viene superato il valore di 3 °C di sovrarzo termico;
- i punti freddi dell'arco si collocano a destra dello scarico di TVN.

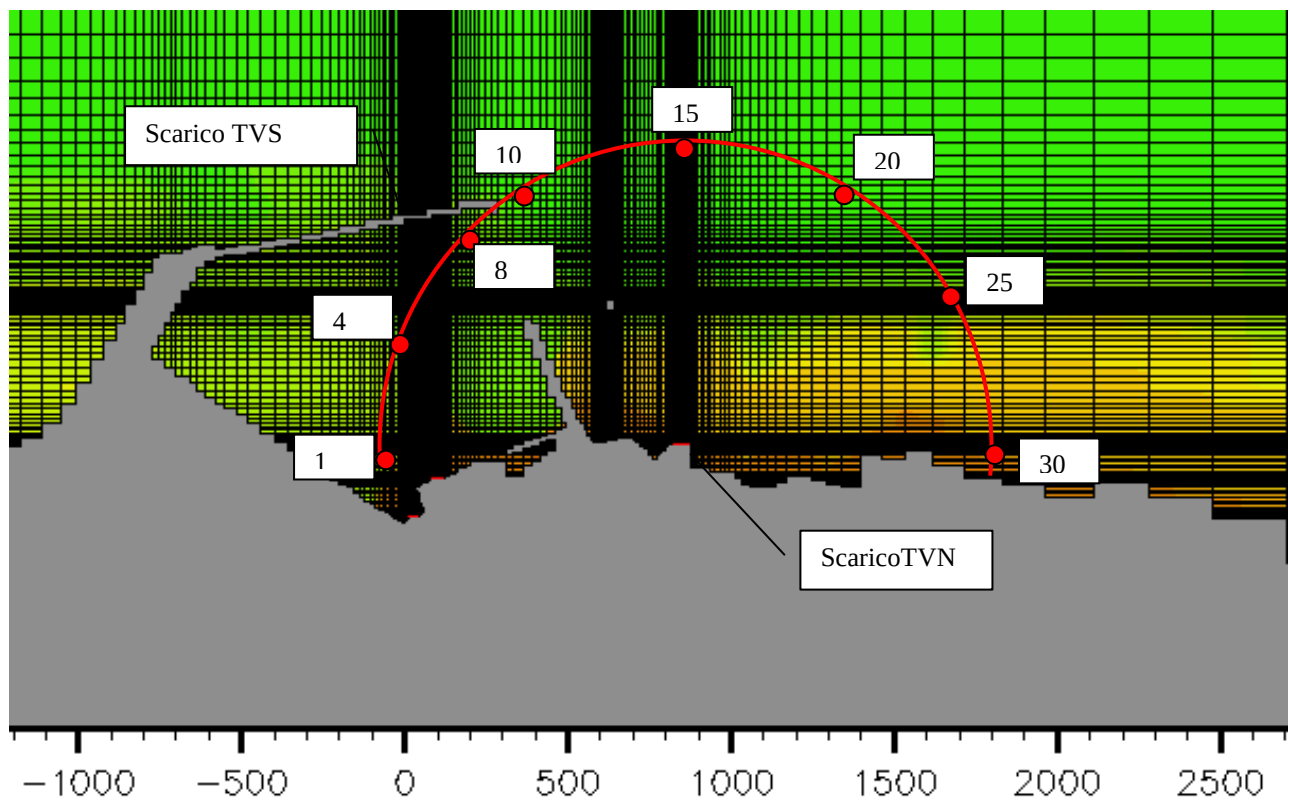
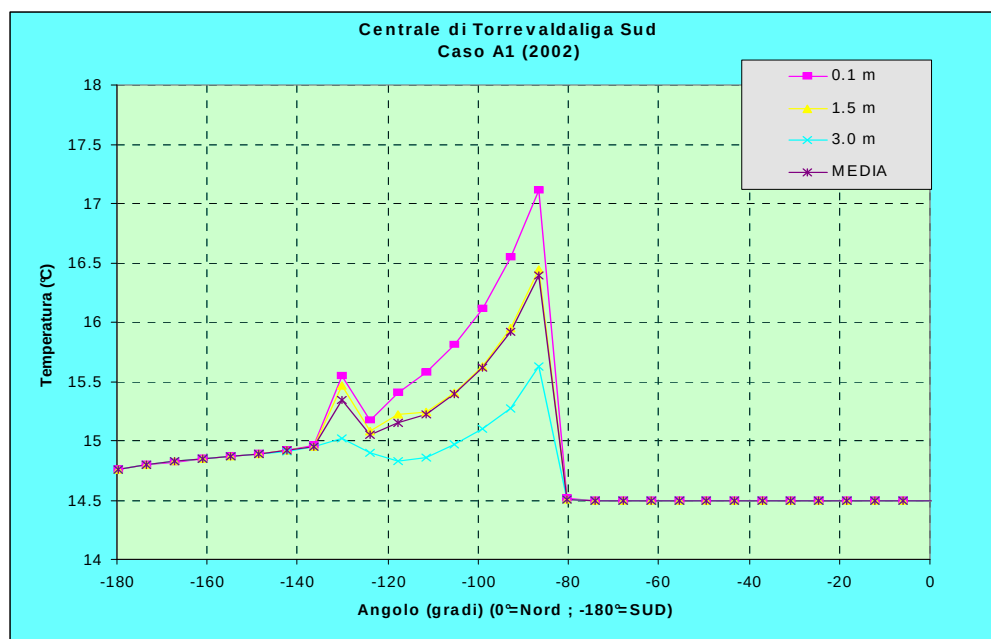


fig. 3.37 - Arco di misura a 1000 m dallo scarico TVN.

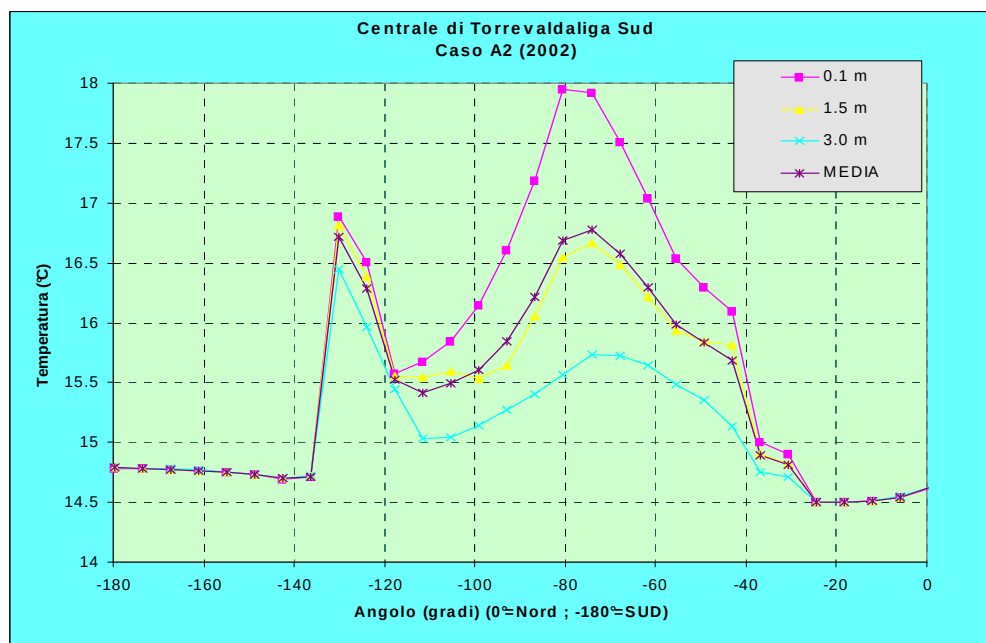
tab. 3.3 – Caso A1. Sovralzo termico sull'arco a 1000 m

Caso A1 - Incrementi termici a 1000 m							
Stazioni	0.1 m	1.5 m	3.0 m	Media punti	3 punti C-F	Staz. C	16.396
1	14.753	14.755	14.757	14.755	C F2 F3 F1	2SC	0.0000
2	14.793	14.795	14.795	14.794			
3	14.822	14.824	14.824	14.823		Staz. F 1	14.499
4	14.845	14.847	14.847	14.846		Staz. F 2	14.500
5	14.87	14.87	14.866	14.869		Staz. F 3	14.500
6	14.893	14.892	14.886	14.890		T m	14.4998
7	14.924	14.922	14.913	14.920		2SF	0.0008
8	14.955	14.954	14.946	14.952			
9	15.546	15.462	15.019	15.342			Incr. term. 1.8958
10	15.176	15.081	14.901	15.053			
11	15.401	15.221	14.825	15.149			
12	15.571	15.242	14.859	15.224			Incr. term. 1.8958
13	15.808	15.409	14.971	15.396			
14	16.113	15.628	15.096	15.612			
15	16.542	15.946	15.276	15.921			
16	17.11	16.448	15.631	16.396			
17	14.513	14.505	14.504	14.507			
18	14.5	14.5	14.5	14.500			
19	14.5	14.5	14.5	14.500			
20	14.5	14.5	14.5	14.500			
21	14.5	14.5	14.5	14.500			
22	14.5	14.5	14.5	14.500			
23	14.5	14.5	14.5	14.500			
24	14.5	14.5	14.5	14.500			
25	14.5	14.5	14.5	14.500			
26	14.5	14.5	14.5	14.500			
27	14.5	14.5	14.5	14.500			
28	14.499	14.499	14.5	14.499			
29	14.5	14.5	14.5	14.500			
30	14.5	14.5	14.5	14.500			



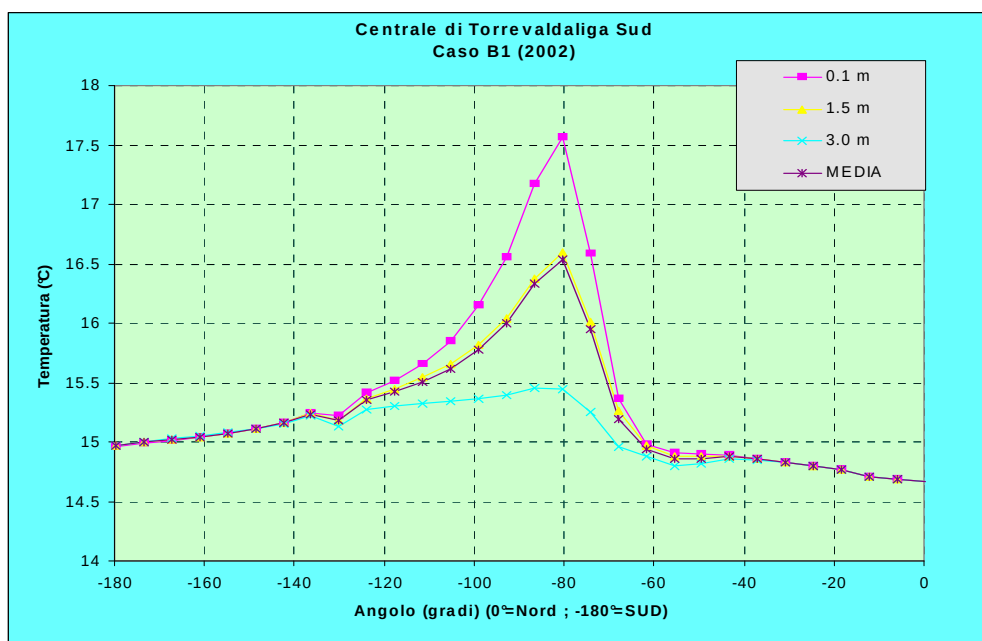
tab. 3.4 – Caso A2. Sovralzo termico sull'arco a 1000 m

Caso A2 - Incrementi termici a 1000 m							
Stazioni	0.1 m	1.5 m	3.0 m	Media punti	3 punti C-F	Staz. C	16.774
1	14.785	14.788	14.796	14.790	C	2SC	0.0000
2	14.78	14.781	14.782	14.781			
3	14.773	14.775	14.777	14.775		Staz. F 1	14.500
4	14.763	14.765	14.768	14.765		Staz. F 2	14.501
5	14.749	14.751	14.754	14.751		Staz. F 3	14.512
6	14.729	14.732	14.735	14.732		T m	14.5046
7	14.695	14.699	14.703	14.699		2SF	0.0129
8	14.712	14.717	14.719	14.716			
9	16.892	16.816	16.442	16.717		Incr. term.	2.2562
10	16.505	16.389	15.965	16.286			
11	15.576	15.549	15.441	15.522			
12	15.672	15.543	15.031	15.415		Incr. term.	2.2562
13	15.849	15.591	15.047	15.496			
14	16.146	15.537	15.144	15.609			
15	16.604	15.647	15.277	15.843			
16	17.19	16.051	15.408	16.216			
17	17.948	16.543	15.563	16.685			
18	17.922	16.663	15.736	16.774			
19	17.508	16.488	15.725	16.574			
20	17.04	16.219	15.642	16.300			
21	16.536	15.931	15.484	15.984			
22	16.292	15.849	15.357	15.833			
23	16.098	15.81	15.132	15.680			
24	15.003	14.907	14.755	14.888			
25	14.9	14.825	14.714	14.813			
26	14.501	14.5	14.5	14.500		F1	
27	14.501	14.501	14.502	14.501		F2	
28	14.509	14.511	14.516	14.512		F3	
29	14.54	14.544	14.547	14.544			
30	14.615	14.621	14.626	14.621			



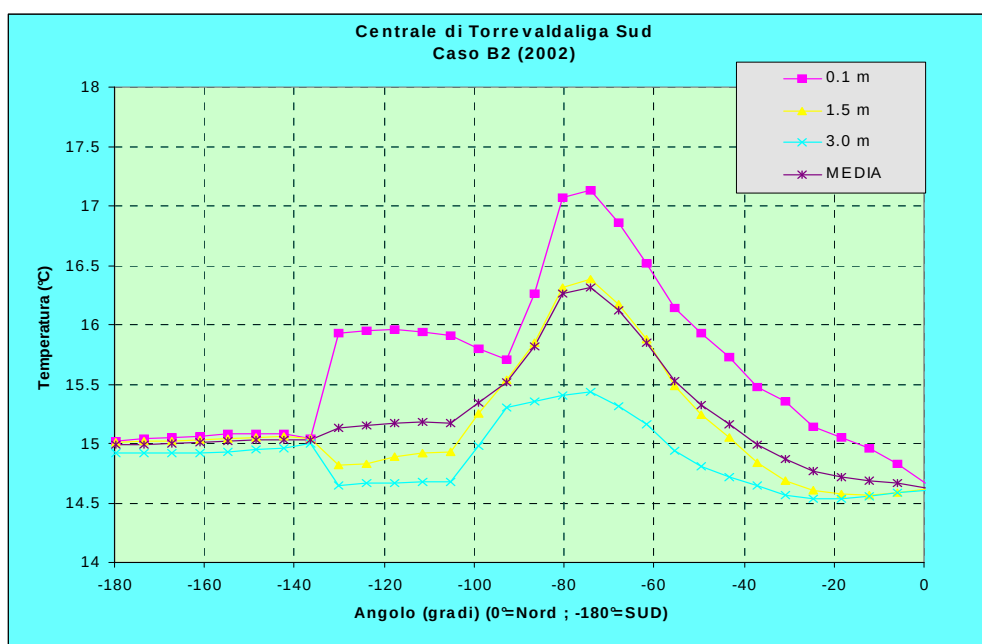
tab. 3.5 – Caso B1. Sovralzo termico sull'arco a 1000 m

Caso B1 - Incrementi termici a 1000 m							
Stazioni	0.1 m	1.5 m	3.0 m	Media punti	3 punti C-F	Staz. C	16.532
1	14.957	14.965	14.974	14.965	C	2SC	0.0000
2	14.99	14.996	15.002	14.996			
3	15.015	15.02	15.026	15.020		Staz. F 1	14.666
4	15.04	15.045	15.048	15.044		Staz. F 2	14.687
5	15.07	15.075	15.077	15.074		Staz. F 3	14.710
6	15.107	15.109	15.107	15.108		T m	14.687
7	15.162	15.162	15.151	15.158		4	
8	15.243	15.239	15.219	15.234		2SF	0.0440
9	15.224	15.18	15.133	15.179		Incr. term.	1.8009
10	15.411	15.367	15.274	15.351			
11	15.517	15.447	15.3	15.421		Incr. term.	1.8009
12	15.656	15.543	15.324	15.508			
13	15.846	15.66	15.346	15.617			
14	16.148	15.822	15.367	15.779			
15	16.557	16.038	15.398	15.998			
16	17.173	16.378	15.454	16.335			
17	17.563	16.593	15.441	16.532			
18	16.584	16.011	15.253	15.949			
19	15.367	15.258	14.96	15.195			
20	14.976	14.965	14.879	14.940			
21	14.908	14.878	14.803	14.863			
22	14.896	14.877	14.816	14.863			
23	14.888	14.882	14.856	14.875			
24	14.863	14.862	14.852	14.859			
25	14.83	14.83	14.825	14.828			
26	14.802	14.803	14.801	14.802			
27	14.767	14.767	14.765	14.766			
28	14.71	14.71	14.709	14.710	F3		
29	14.687	14.687	14.687	14.687	F2		
30	14.665	14.666	14.666	14.666	F1		



tab. 3.6 – Caso B2. Sovralzo termico sull'arco a 1000 m

Caso B2 - Incrementi termici a 1000 m							
Stazioni	0.1 m	1.5 m	3.0 m	Media punti	3 punti C-F	Staz. C	16.317
1	15.025	15.009	14.922	14.985	C	2SC	0.0000
2	15.037	15.017	14.918	14.991			
3	15.05	15.025	14.919	14.998		Staz. F 1	14.631
4	15.062	15.034	14.923	15.006		Staz. F 2	14.665
5	15.076	15.042	14.931	15.016		Staz. F 3	14.690
6	15.082	15.05	14.948	15.027		T m	14.6621
7	15.077	15.057	14.961	15.032		2SF	0.0599
8	15.038	15.037	15.004	15.026			
9	15.933	14.818	14.643	15.131		Incr. term.	1.5953
10	15.949	14.828	14.668	15.148			
11	15.959	14.888	14.667	15.171		Incr. term.	1.5953
12	15.941	14.92	14.676	15.179			
13	15.905	14.927	14.68	15.171			
14	15.794	15.249	14.984	15.342			
15	15.71	15.533	15.3	15.514			
16	16.264	15.851	15.352	15.822			
17	17.07	16.317	15.402	16.263			
18	17.13	16.386	15.436	16.317			
19	16.863	16.172	15.315	16.117			
20	16.515	15.874	15.163	15.851			
21	16.139	15.488	14.94	15.522			
22	15.926	15.245	14.81	15.327			
23	15.725	15.051	14.722	15.166			
24	15.472	14.841	14.651	14.988			
25	15.354	14.684	14.566	14.868			
26	15.146	14.609	14.536	14.764			
27	15.054	14.572	14.536	14.721			
28	14.955	14.564	14.552	14.690		F3	
29	14.827	14.586	14.583	14.665		F2	
30	14.669	14.612	14.611	14.631		F1	



4 CONSIDERAZIONI FINALI

L'analisi preliminare dei risultati finora ottenuti consente di poter affermare quanto segue:

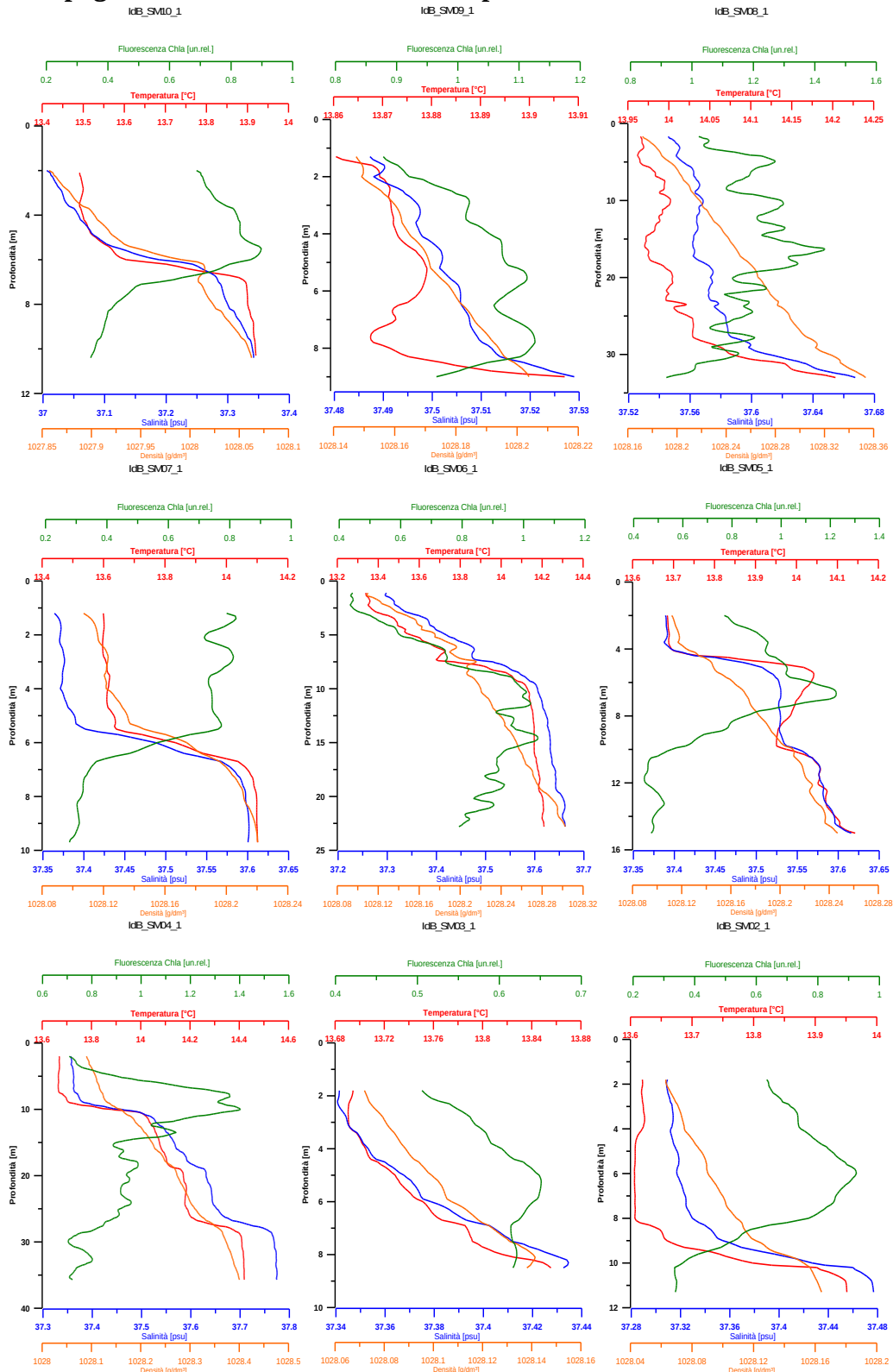
- il primo scenario esaminato, in cui lo scarico della centrale di Torrevaldaliga Sud è posto all'esterno del molo di sopraflutto e la corrispondente nuova opera di presa è anch'essa posta all'esterno del molo, nella posizione prevista dal progetto definitivo, è stato valutato nelle condizioni presumibilmente più critiche alla luce dei risultati degli studi precedenti. In effetti è emersa la possibilità di condizioni critiche ai fini del ricircolo termico quando il vento soffia verso terra (con una frequenza annuale dell'ordine del 6÷8%), con un ricircolo dell'ordine di circa 0.55 °C;
- il secondo scenario esaminato, in cui lo scarico della centrale di Torrevaldaliga Sud è posto all'esterno del molo di sopraflutto e la corrispondente nuova opera di presa è invece collocata all'interno della darsena, presenta anch'esso una possibilità di ricircolo in presenza di vento forte da NW. Tale condizione di vento ha una frequenza dell'ordine del 10%, ma l'instaurarsi delle condizioni di ricircolo richiede in questo caso anche la concomitanza dell'effetto della corrente, per cui la frequenza reale oscilla intorno al 5÷6%;
- per quanto riguarda il rispetto dei limiti termici di legge, nessuno degli scenari esaminati presenta una situazione critica, anzi in generale l'isoterma a + 3 °C si mantiene ad una distanza ben inferiore ai 1000 m dal punto di scarico;
- non vi sono problemi di ricircolo alla presa di Torrevaldaliga Nord;
- il riscaldamento della darsena è ora assai contenuto, e si limita a situazioni meteomarine in cui il pennacchio di Torrevaldaliga Nord penetra parzialmente in darsena, ma con valori di sovrizzo termico assai ridotti.

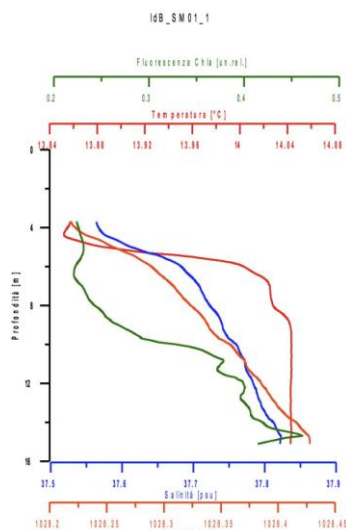


Laboratorio di Oceanologia Sperimentale ed Ecologia Marina
DEB – Università degli Studi della Tuscia

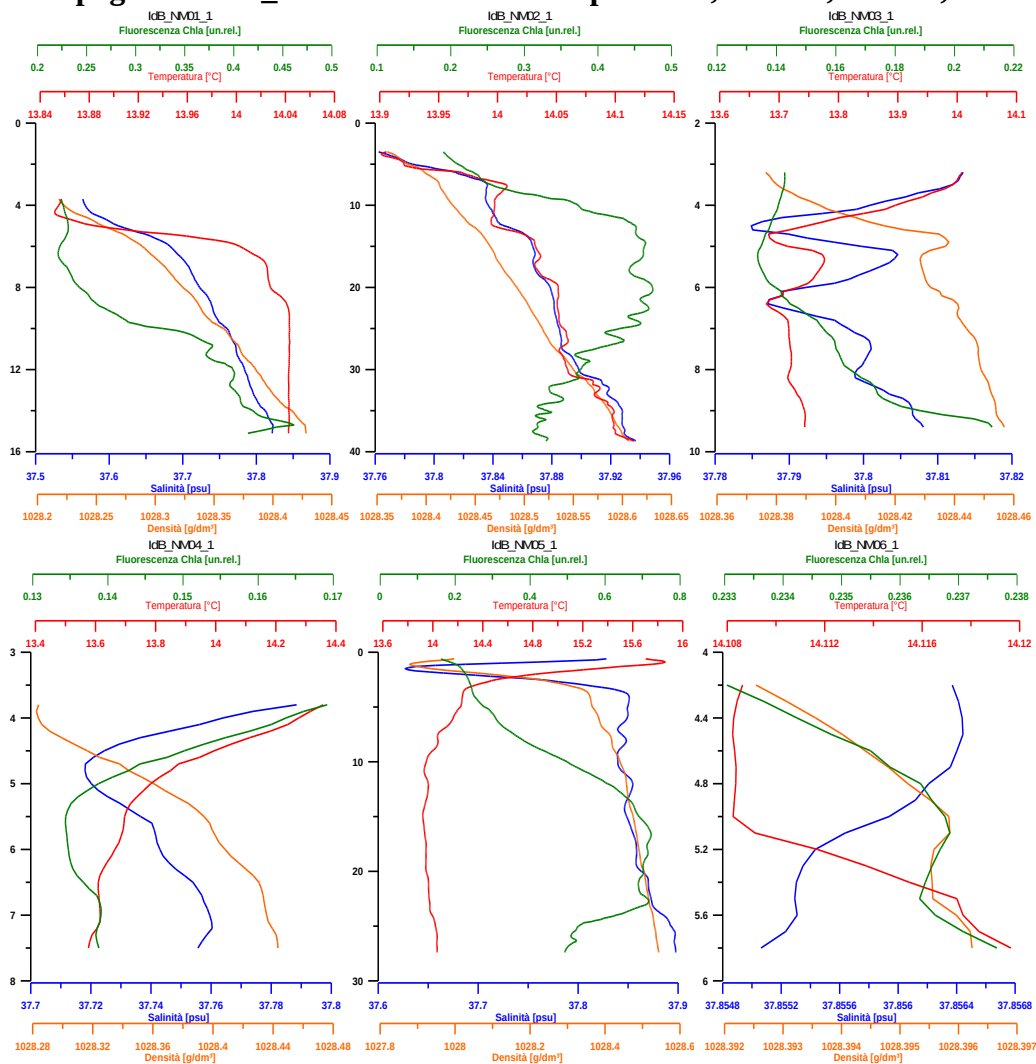
ALLEGATO B

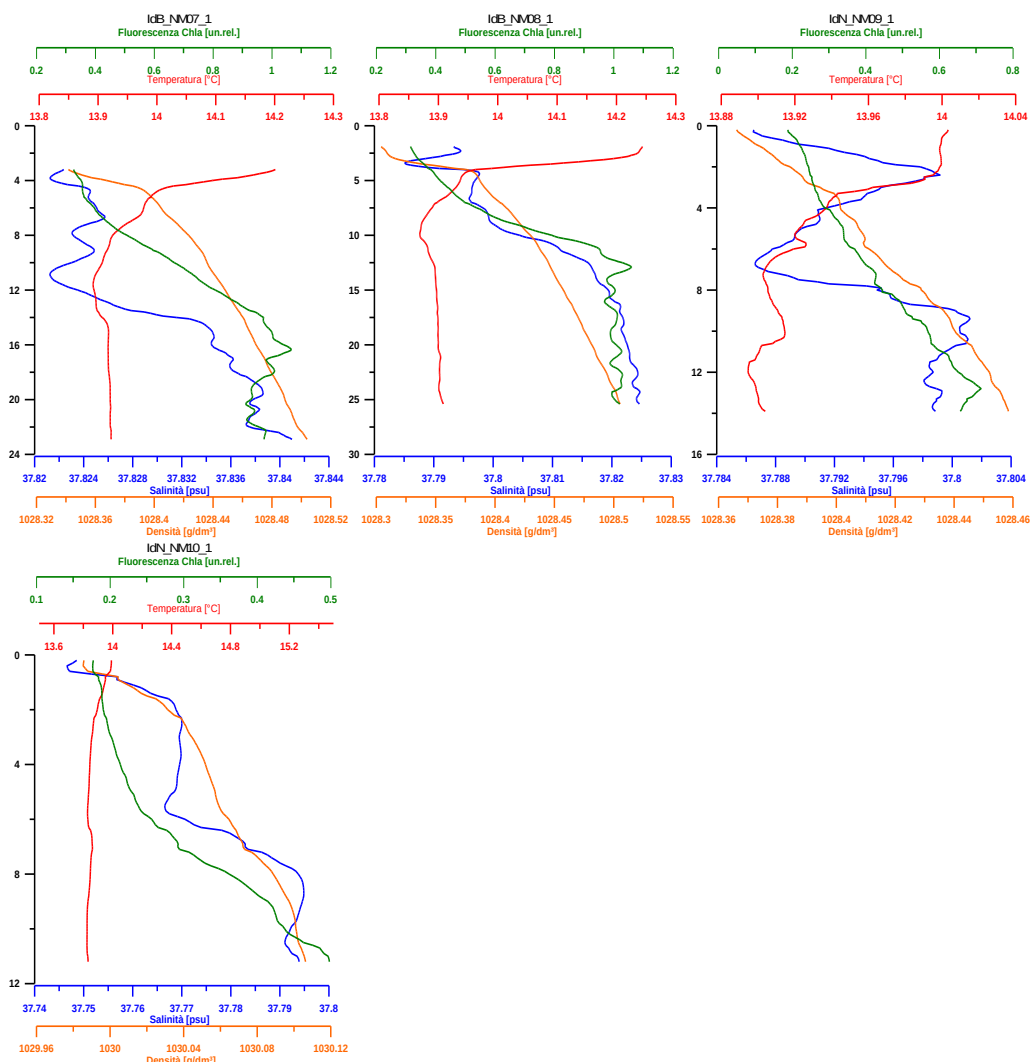
Campagna SUD_1 - Profili Verticali temperatura, salinità, densità, fluorescenza clorofilla *a*.



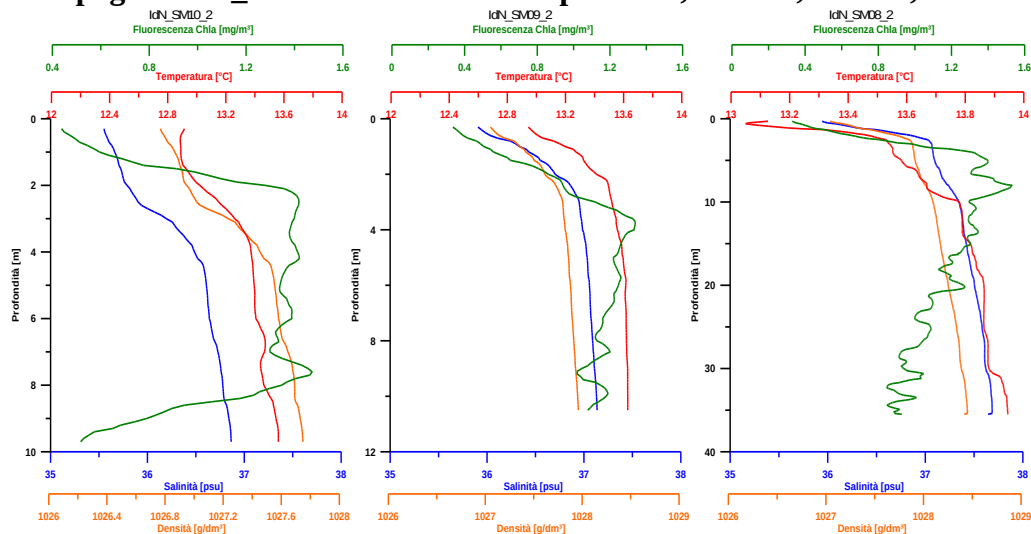


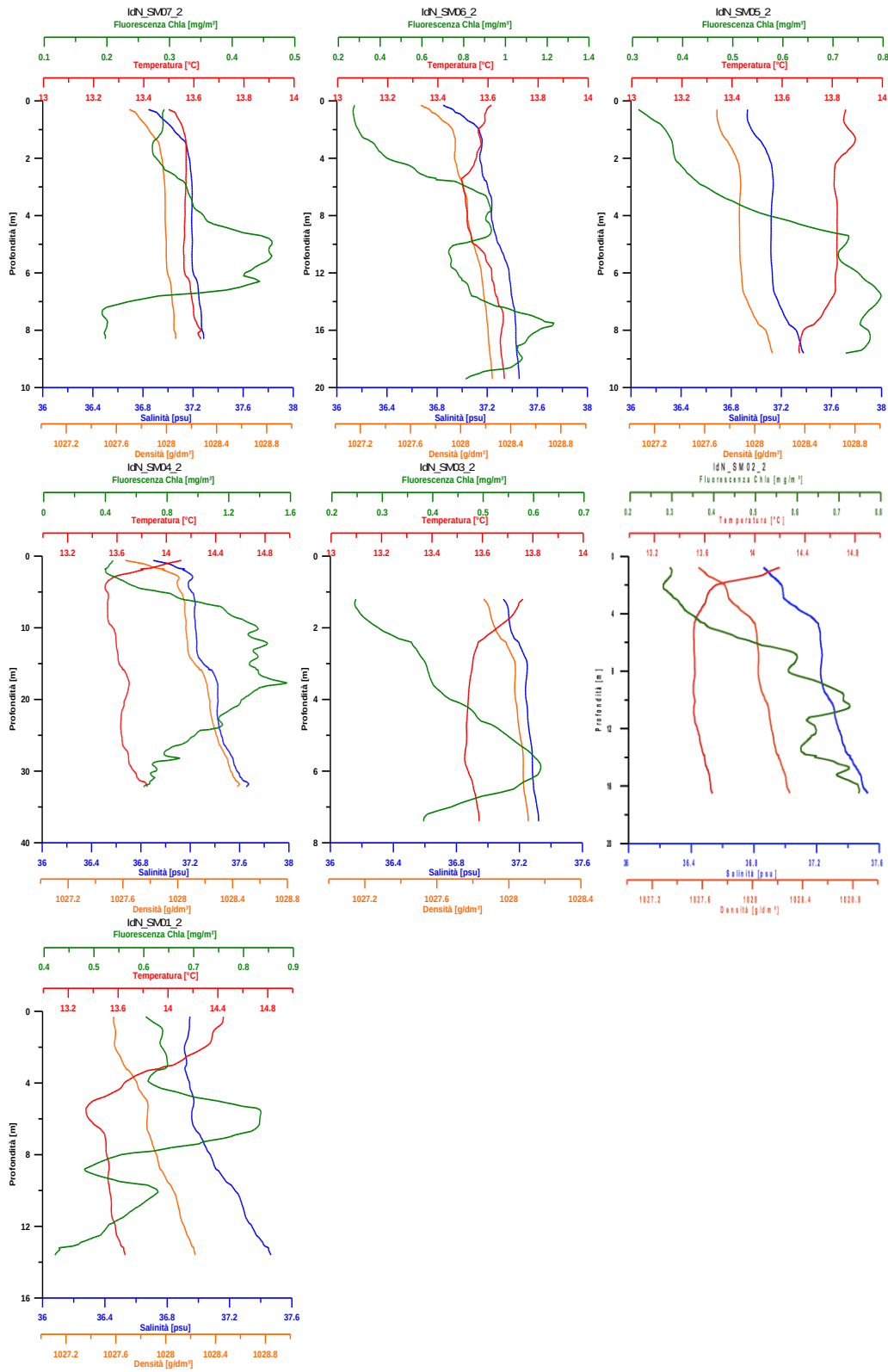
Campagna NORD_1 - Profili Verticali temperatura, salinità, densità, fluorescenza clorofilla a



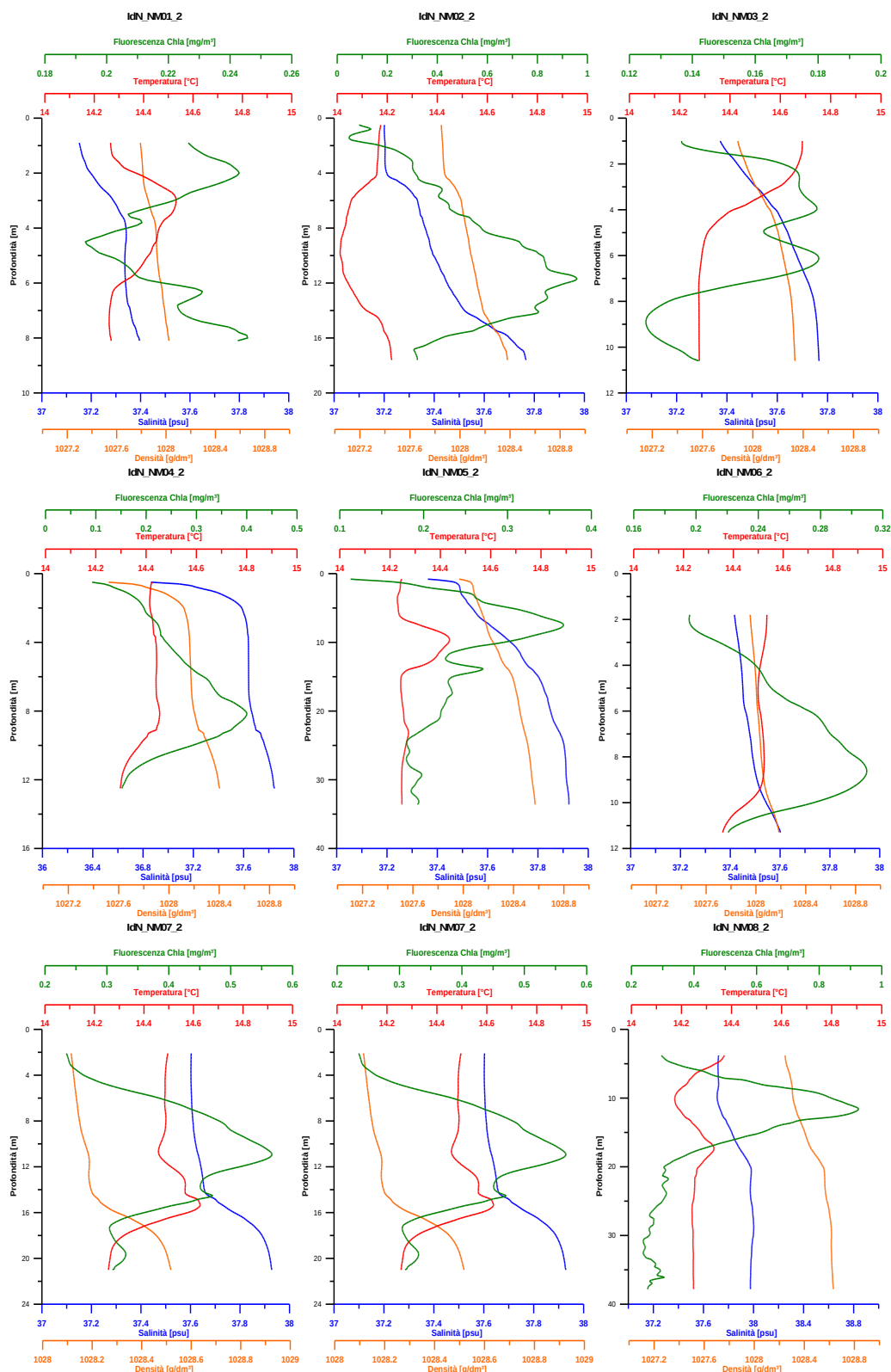


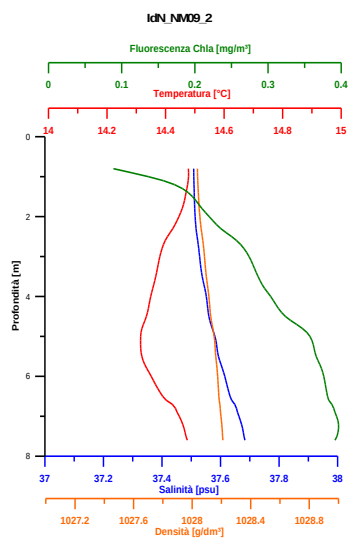
Campagna SUD_2 - Profili Verticali temperatura, salinità, densità, fluorescenza clorofilla *a*



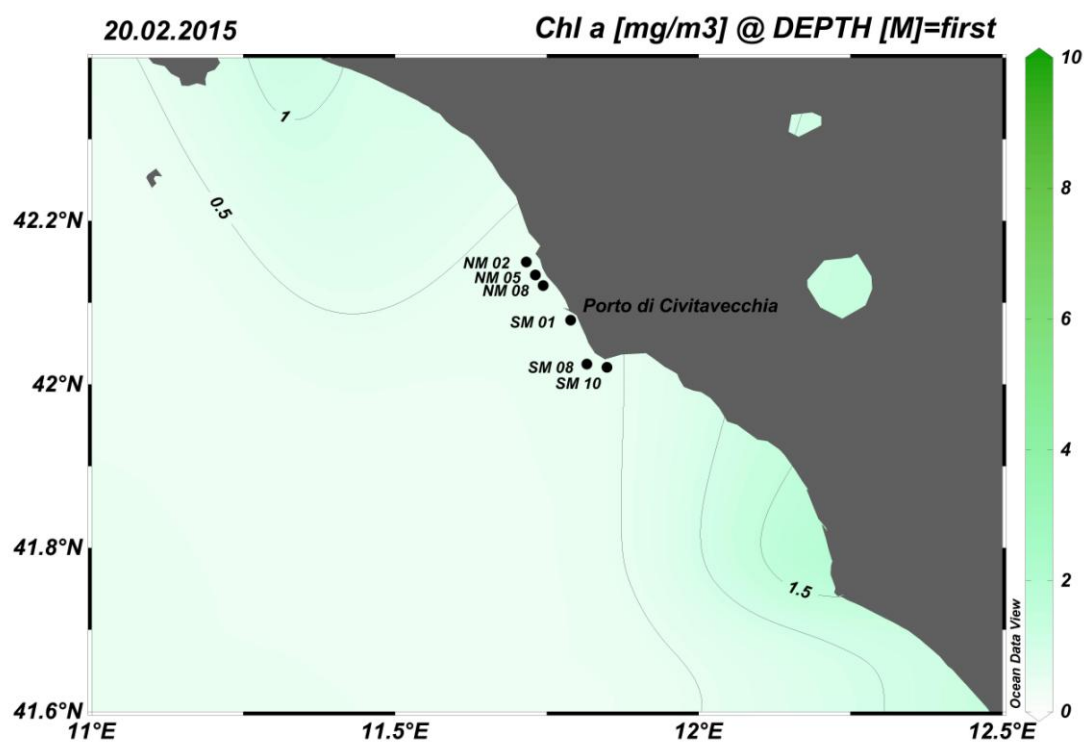
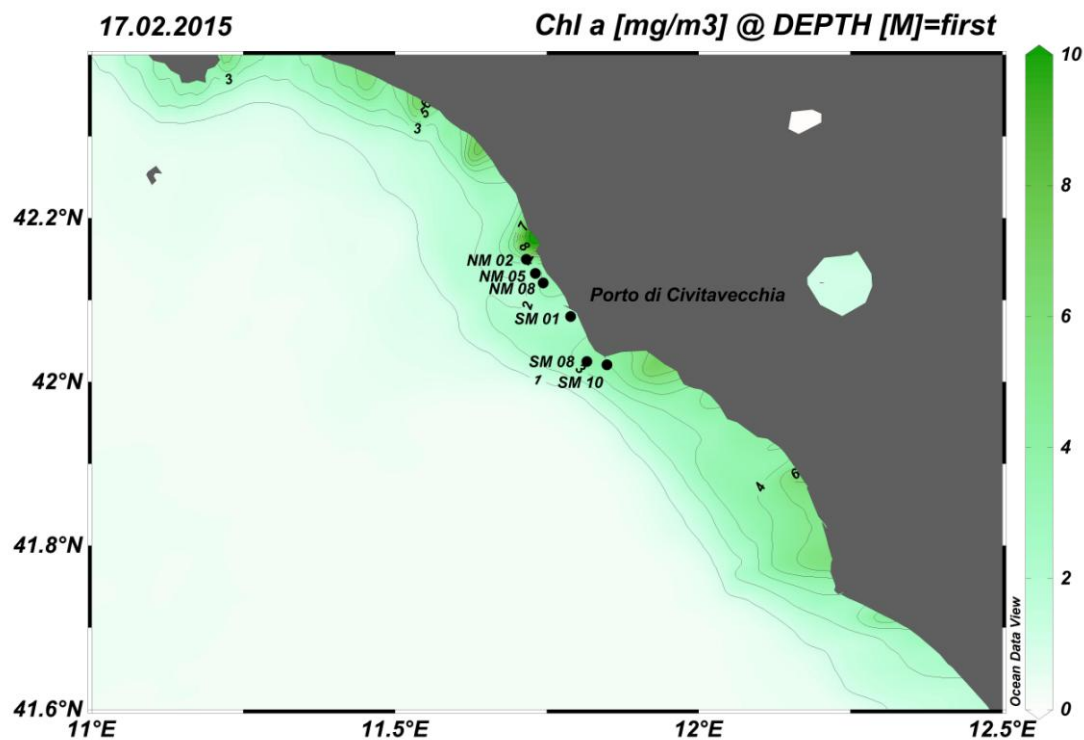


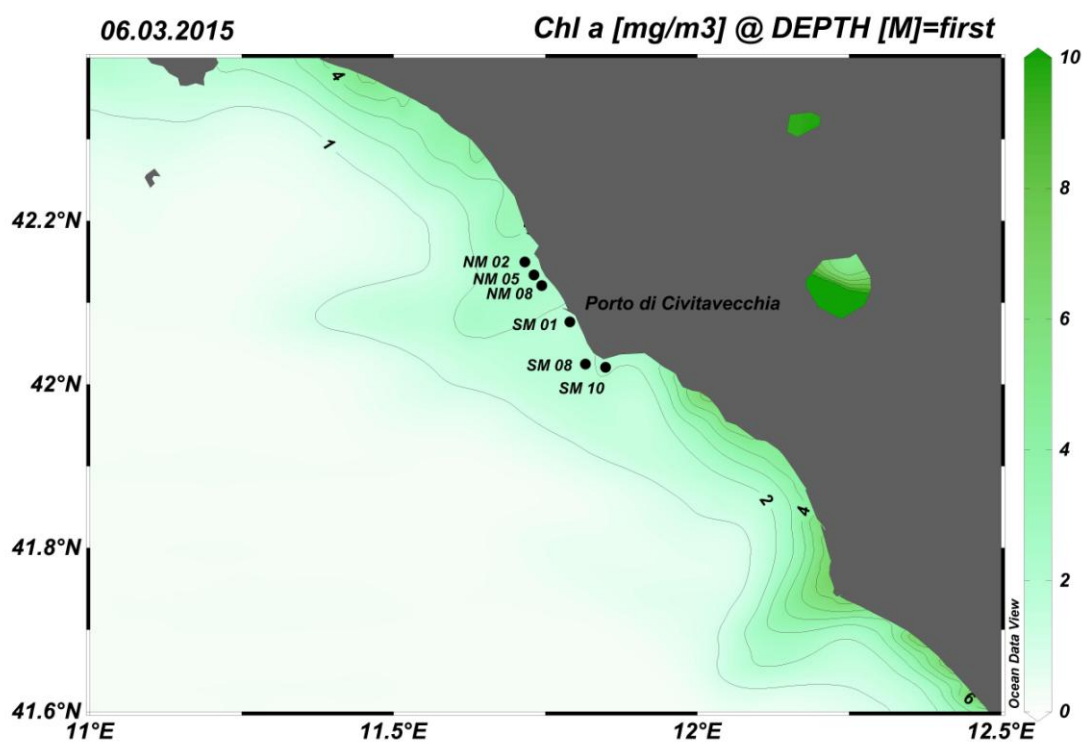
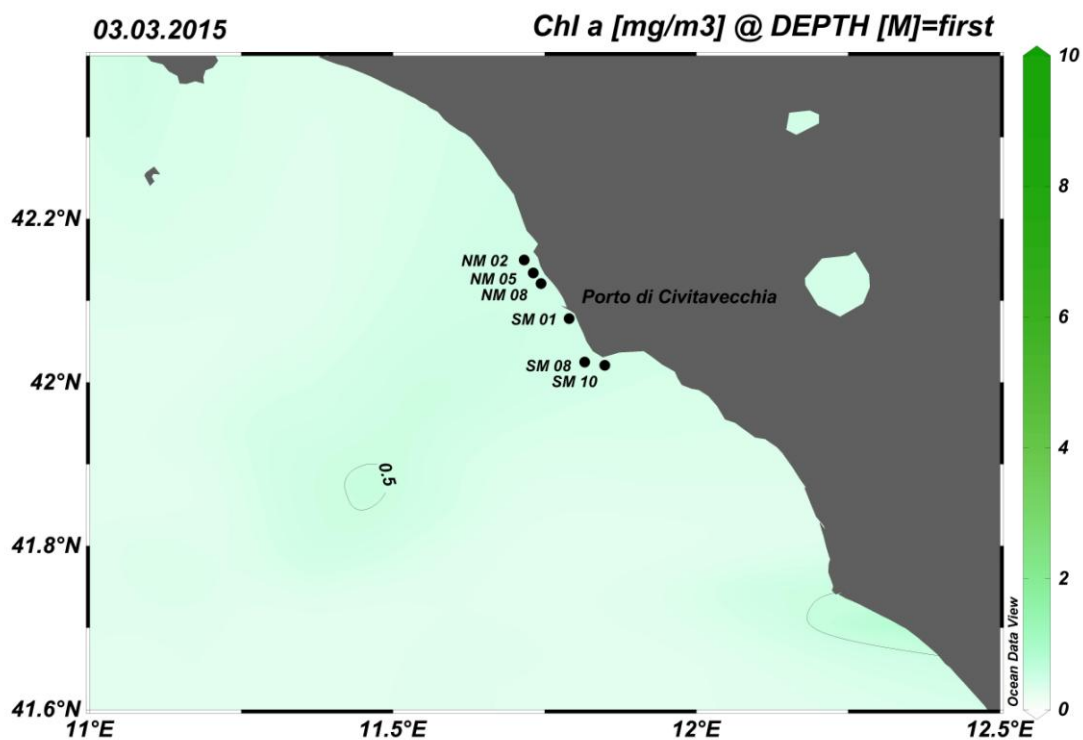
Campagna NORD_2 - Profili Verticali temperatura, salinità, densità, fluorescenza clorofilla *a*

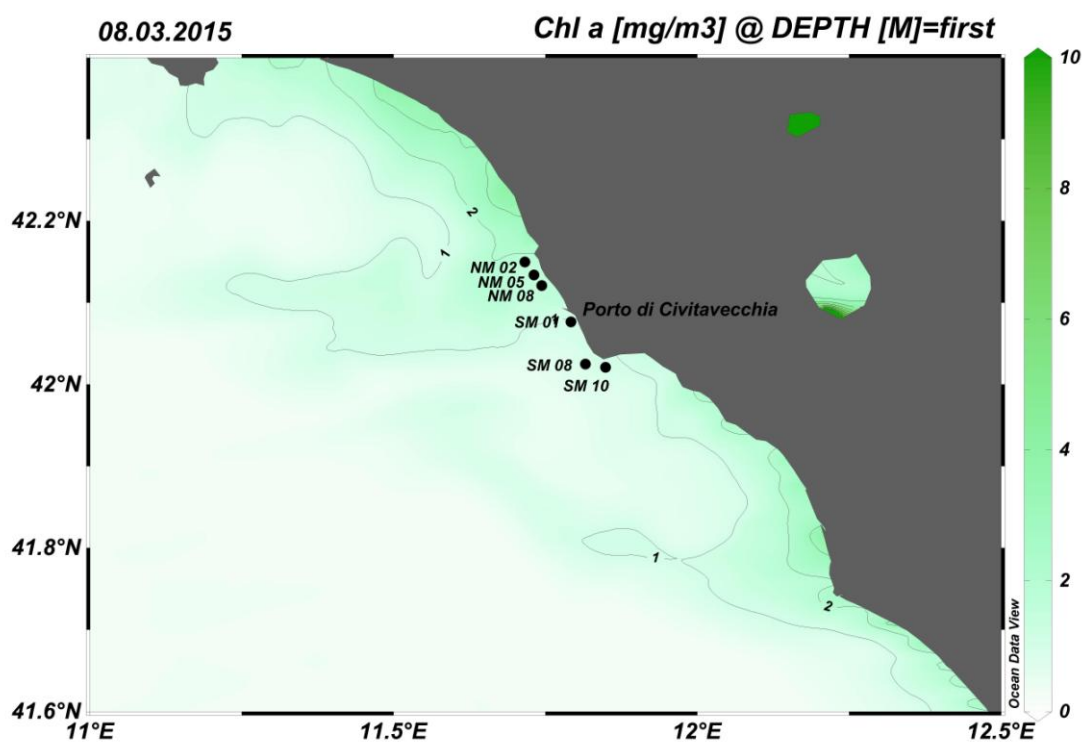
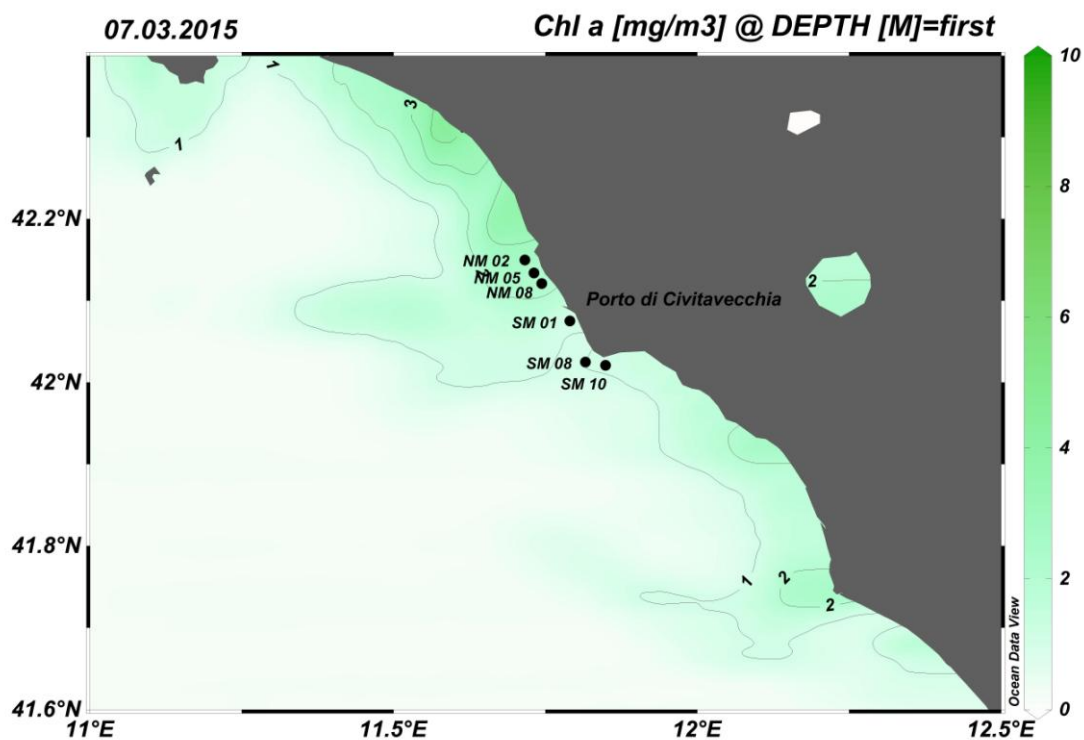


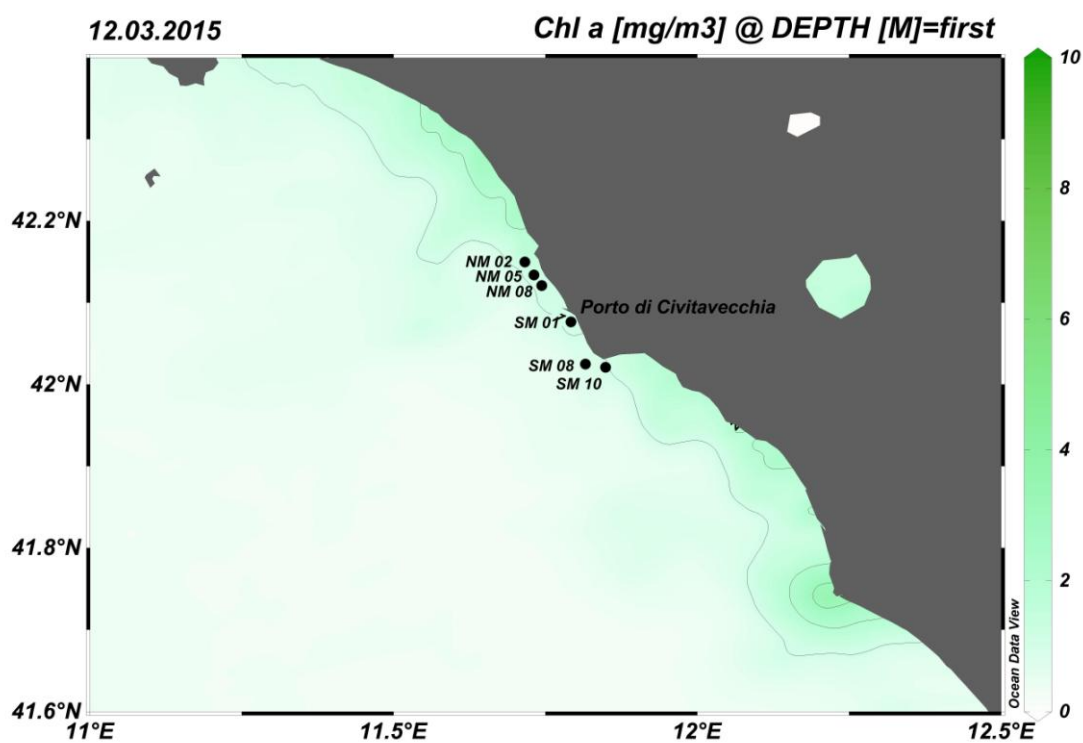
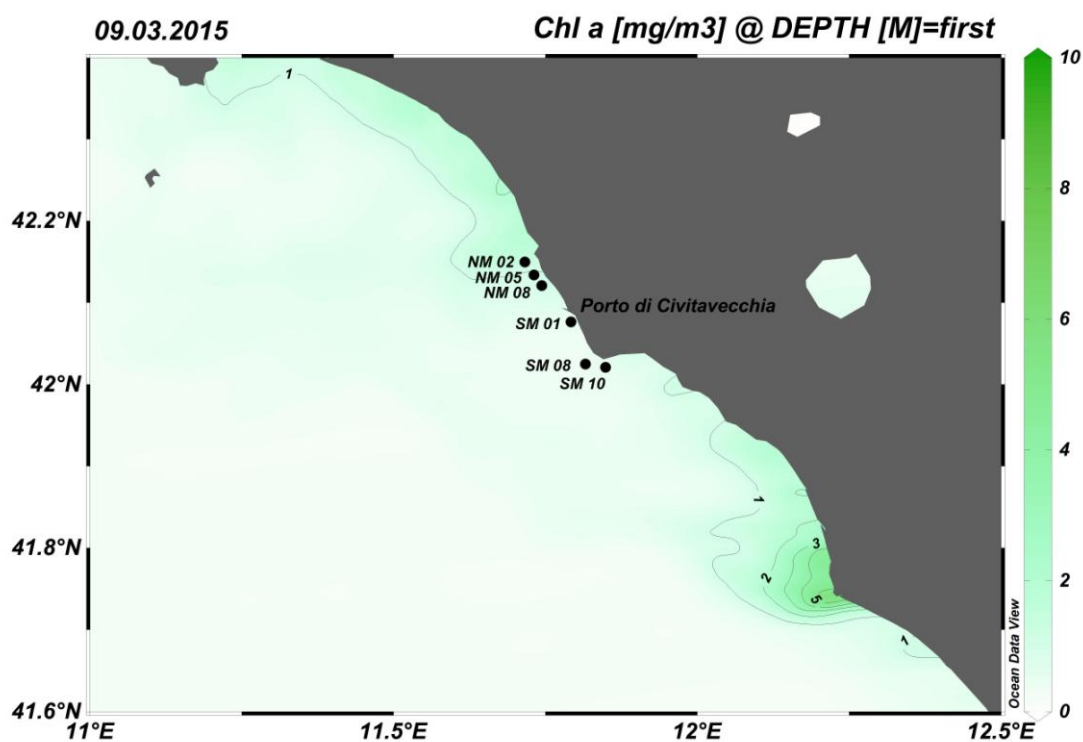


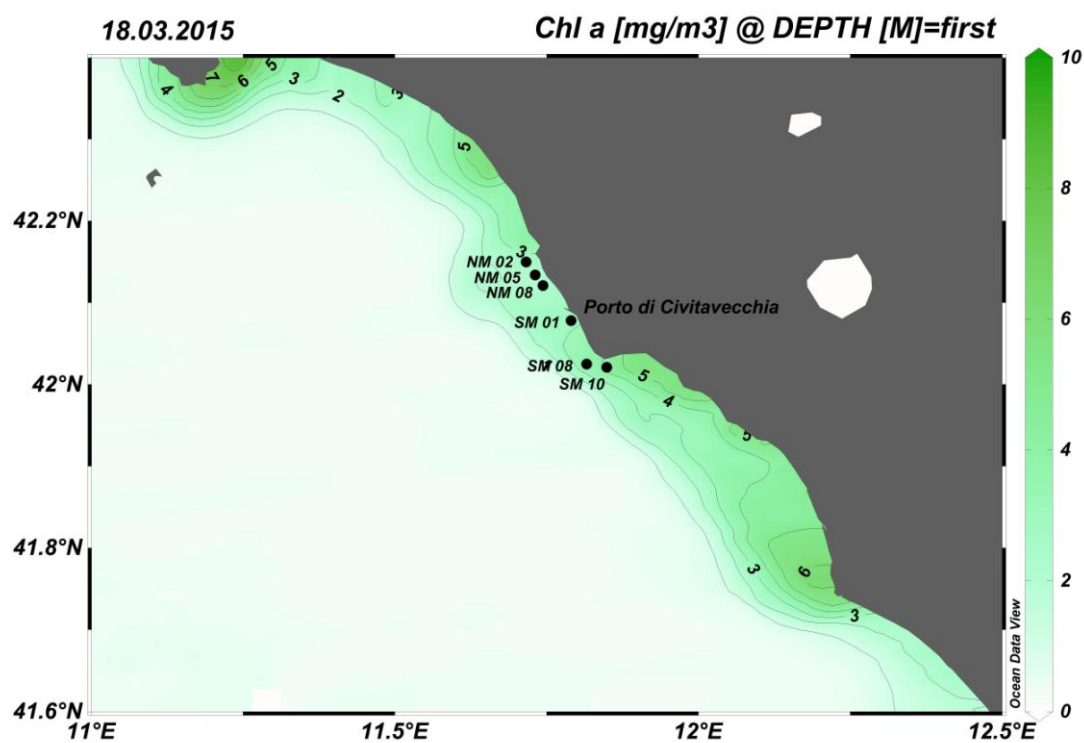
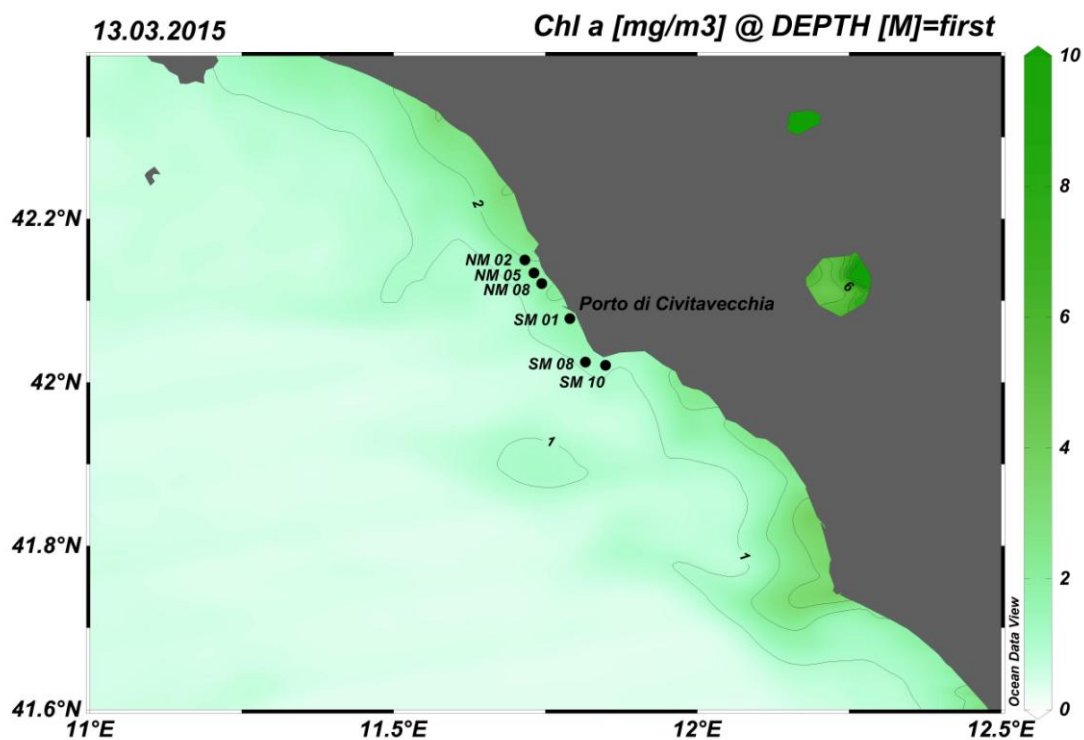
Mappe satellitari di distribuzione della Clorofilla a.

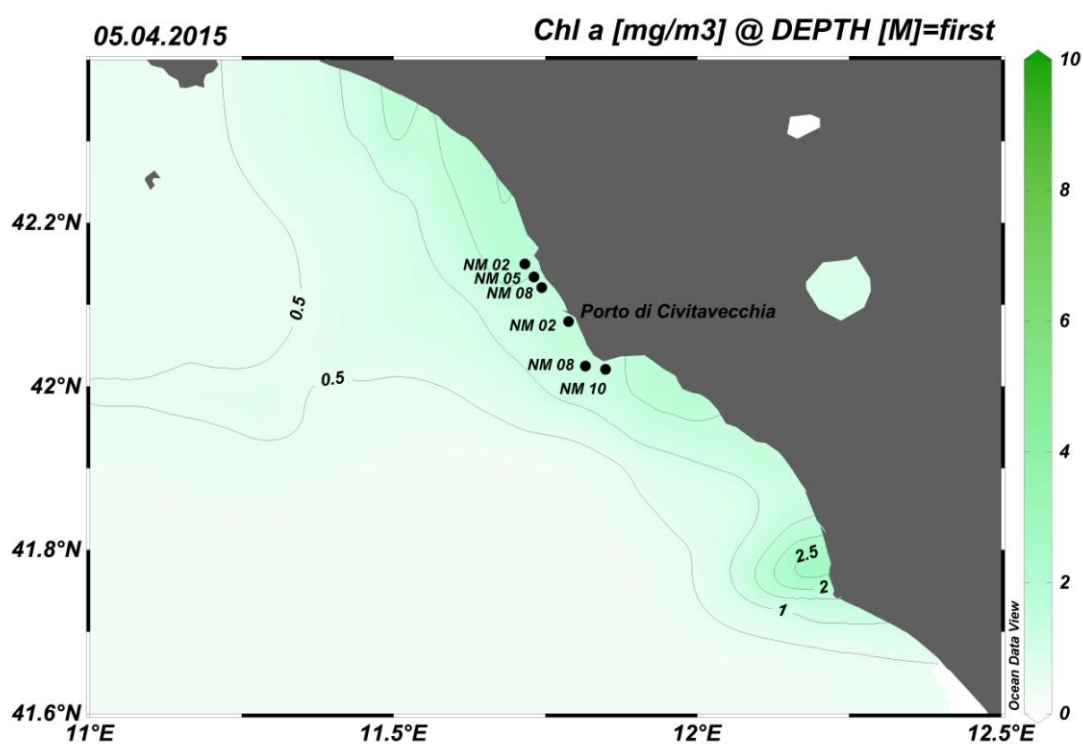
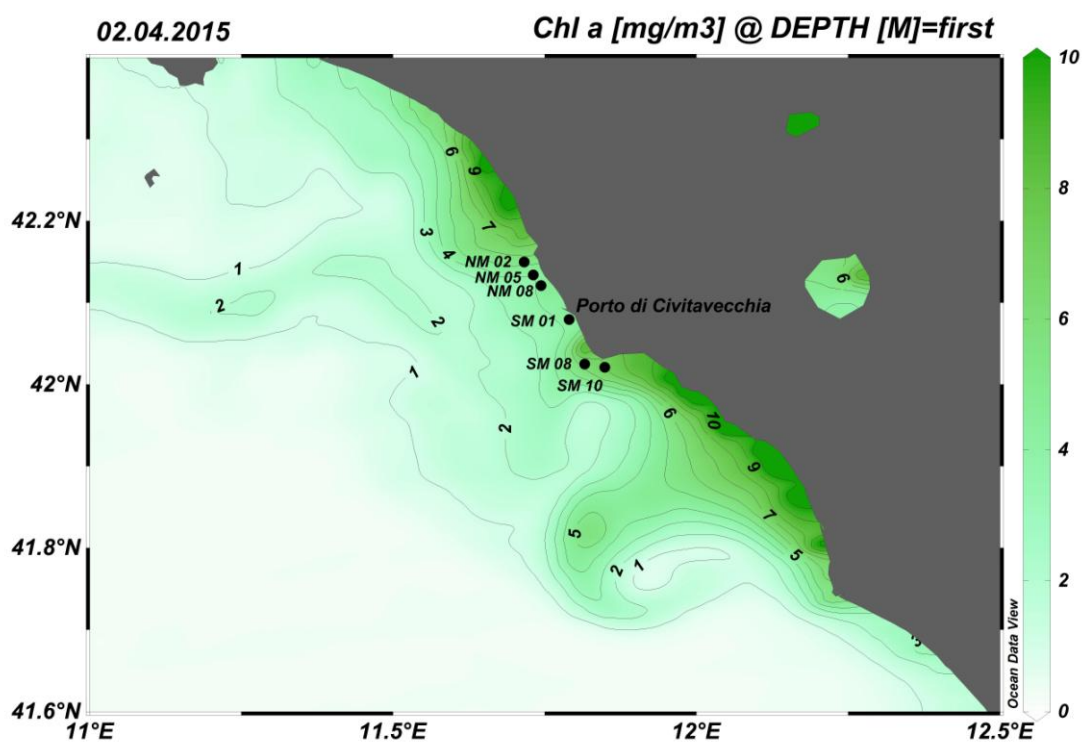


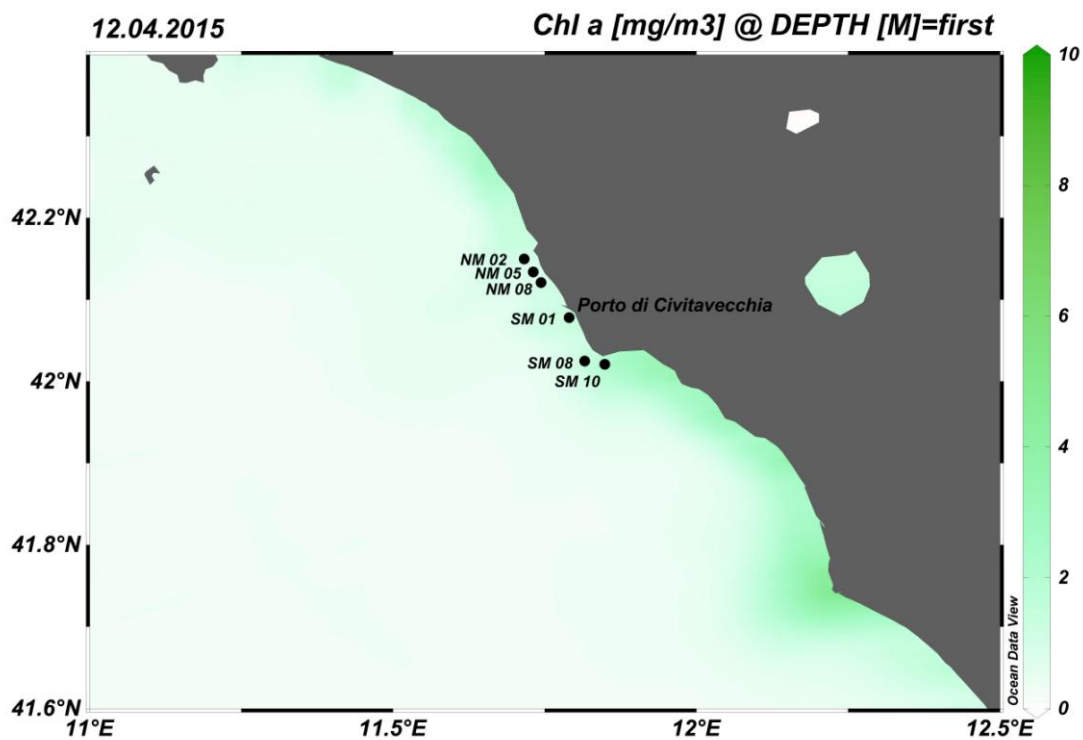
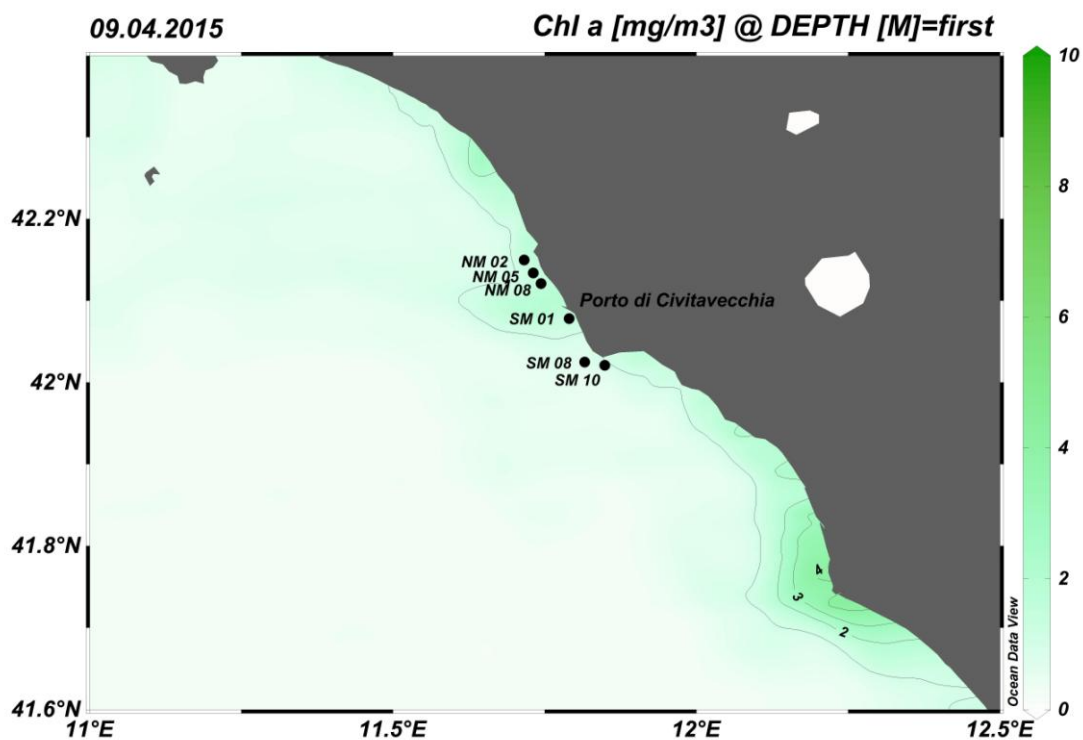




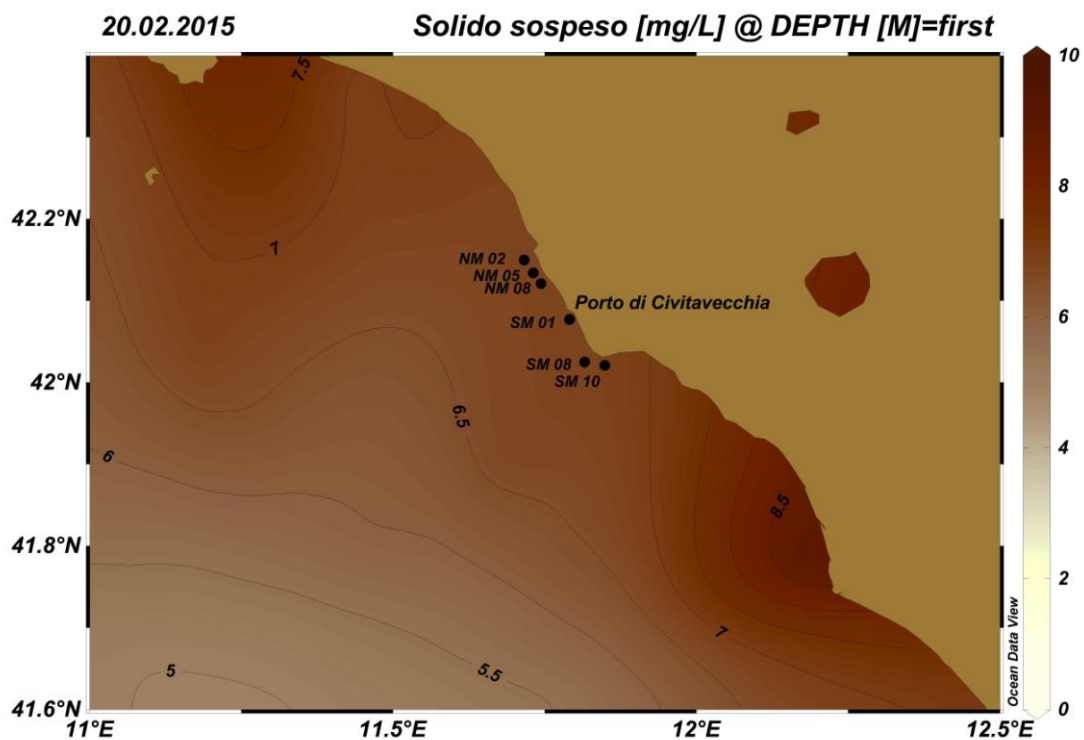
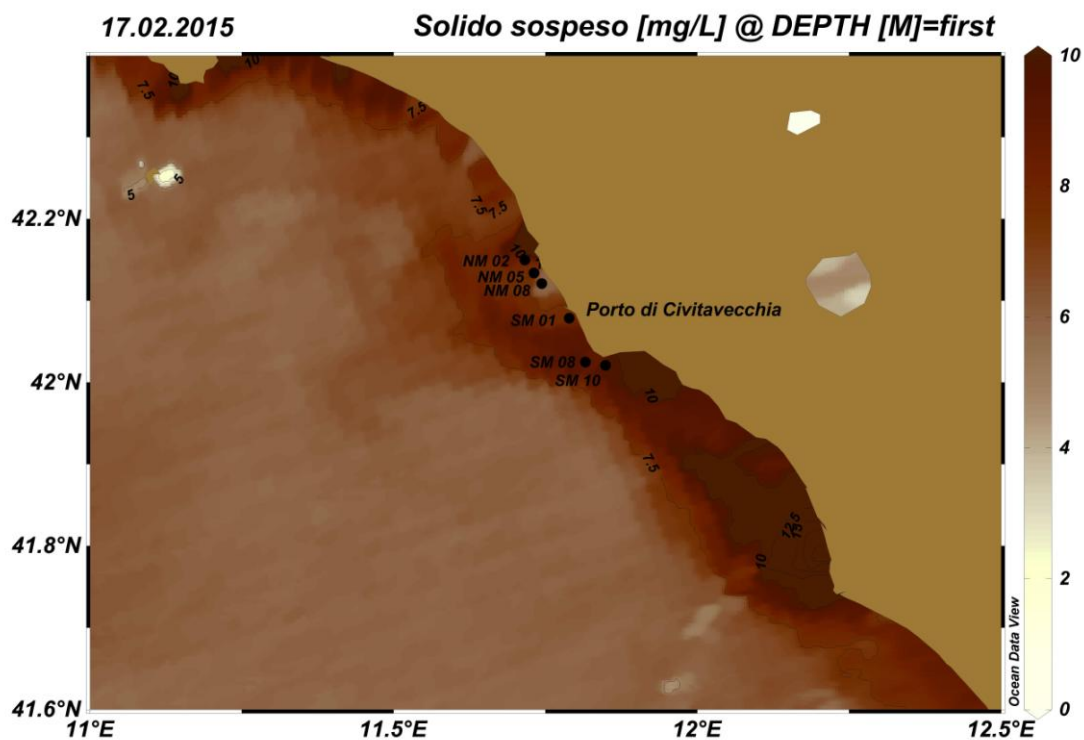


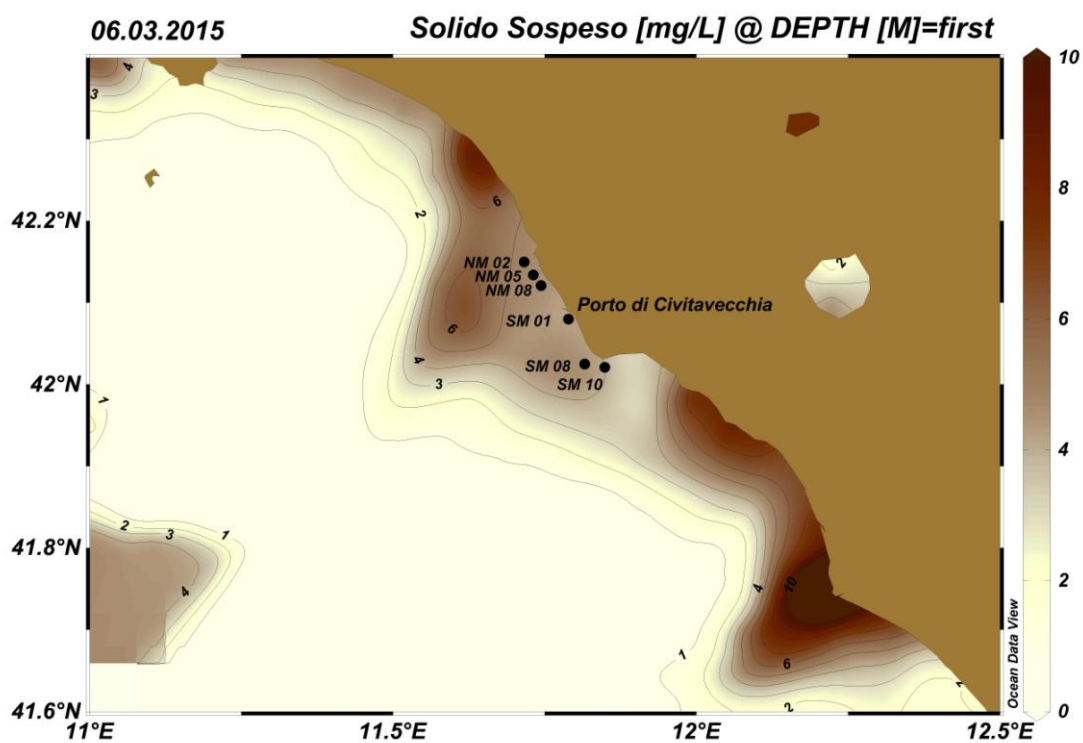
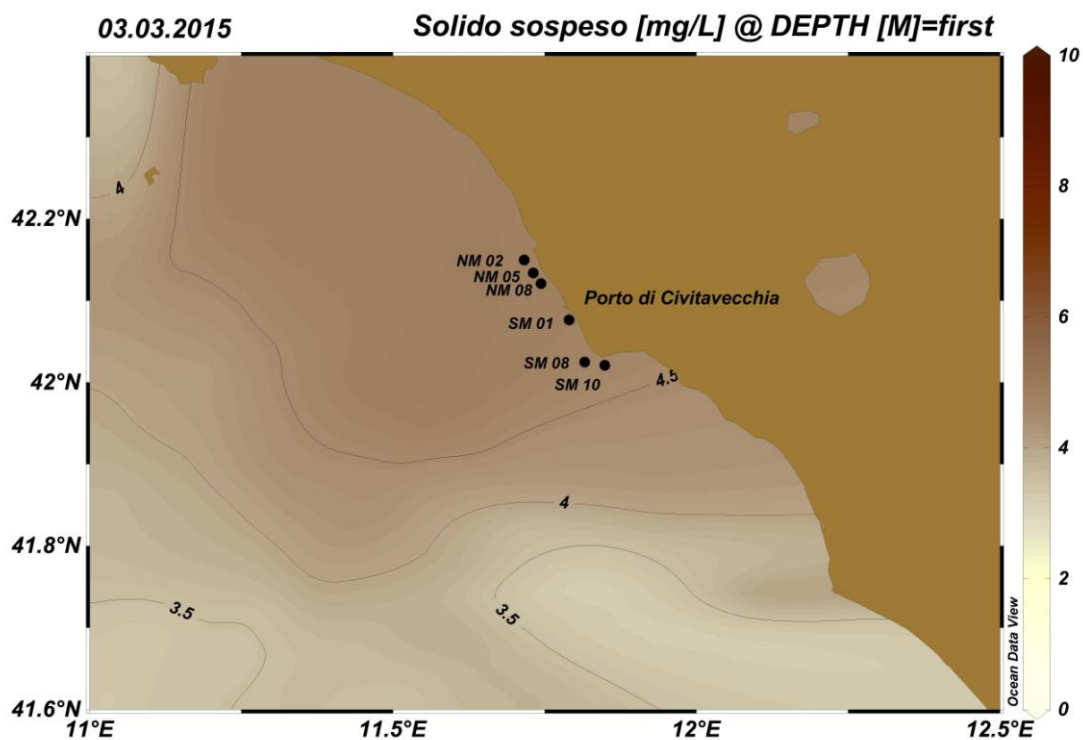


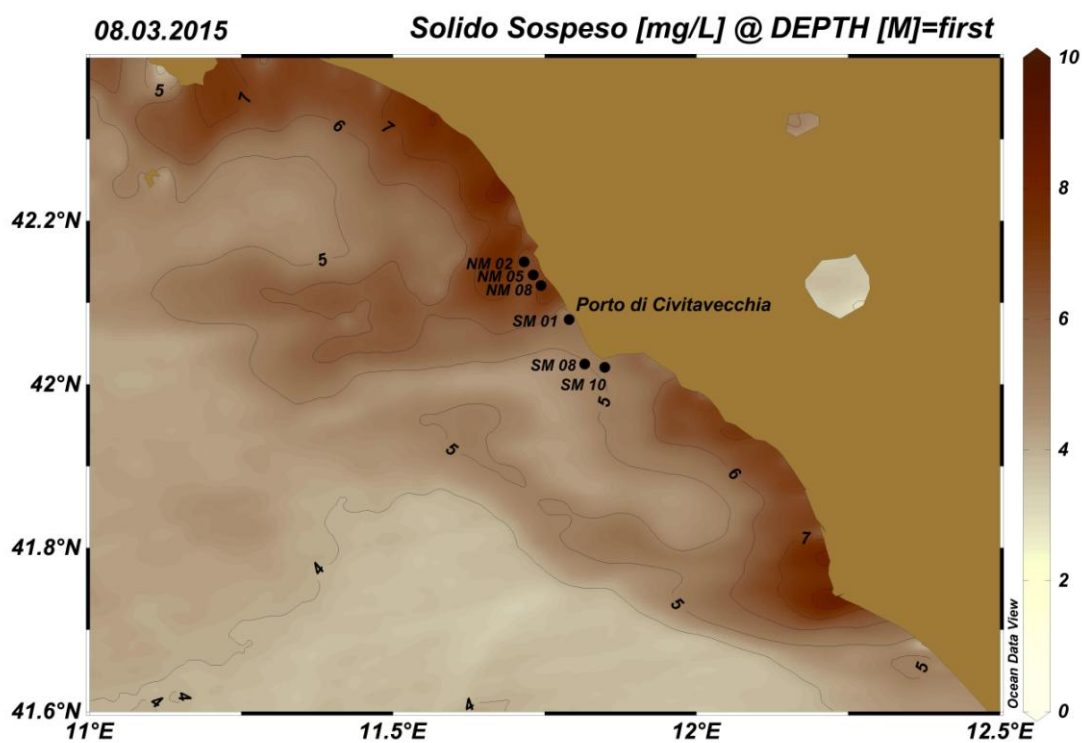
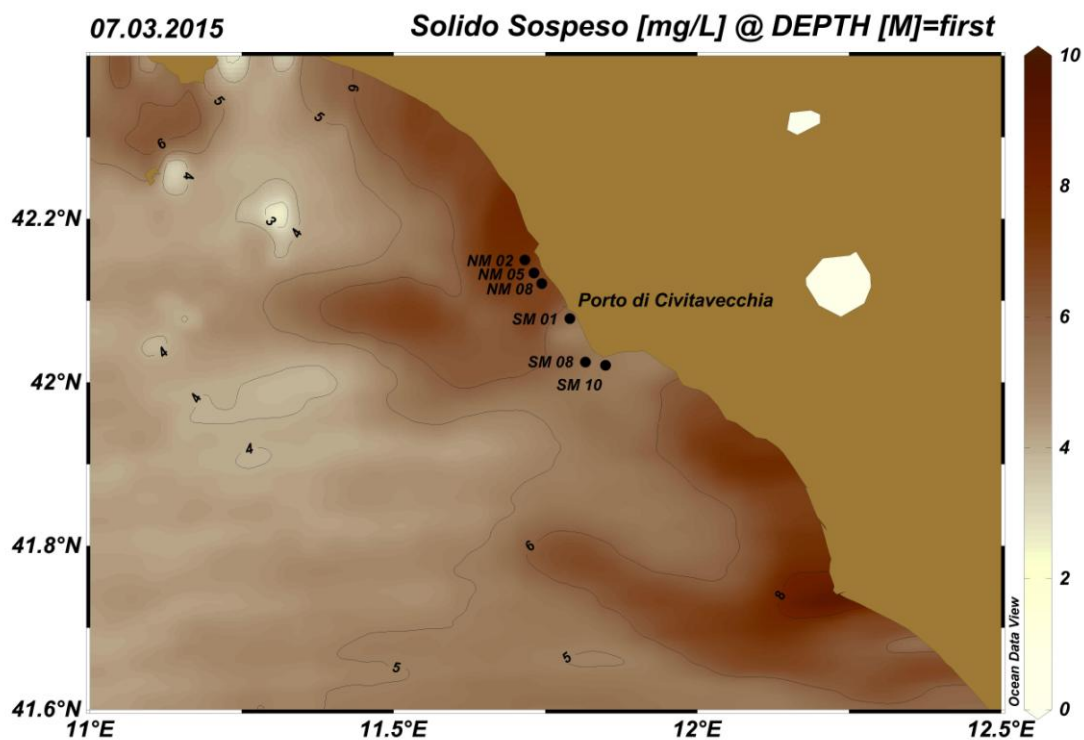


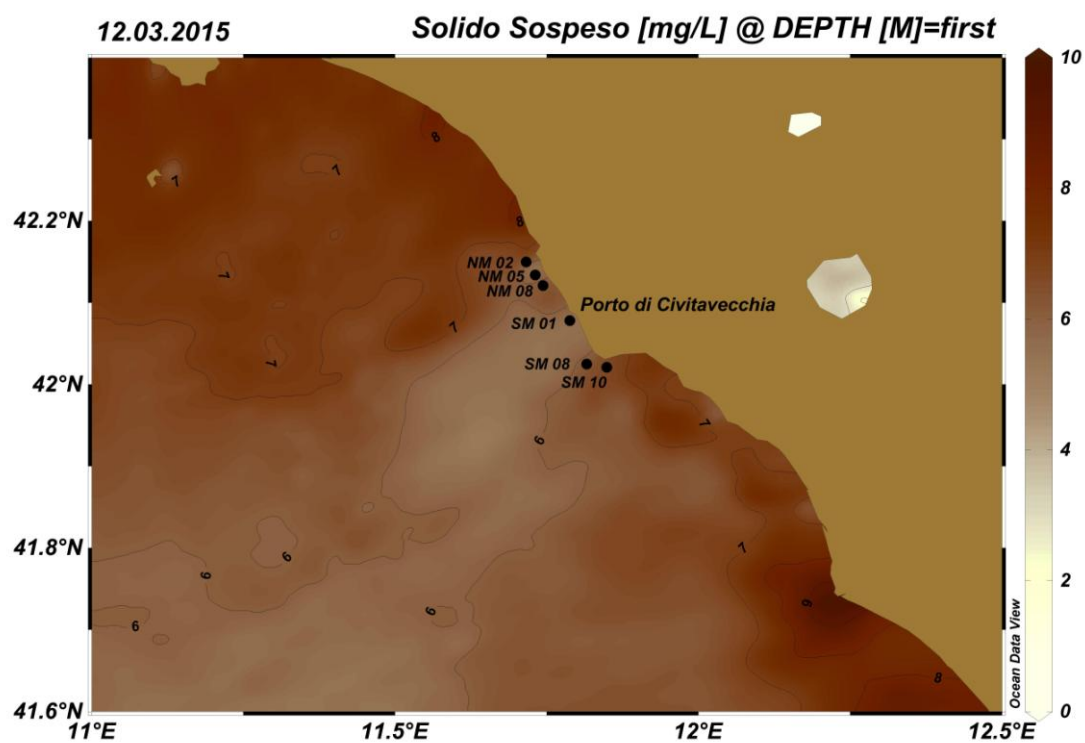
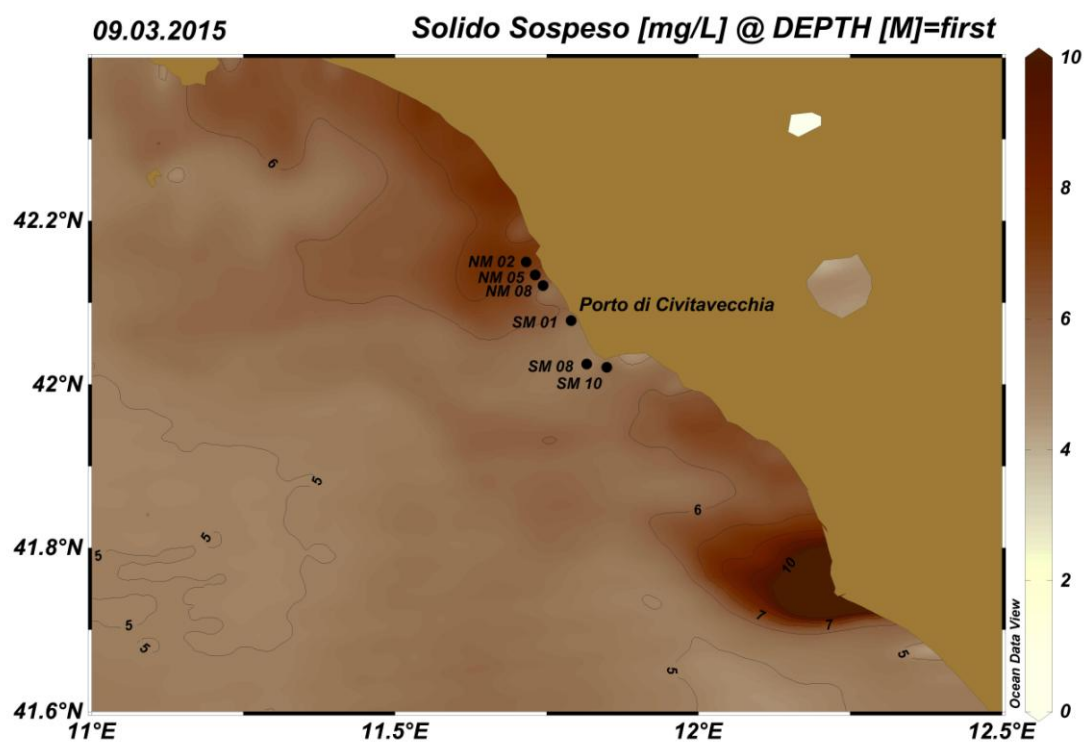


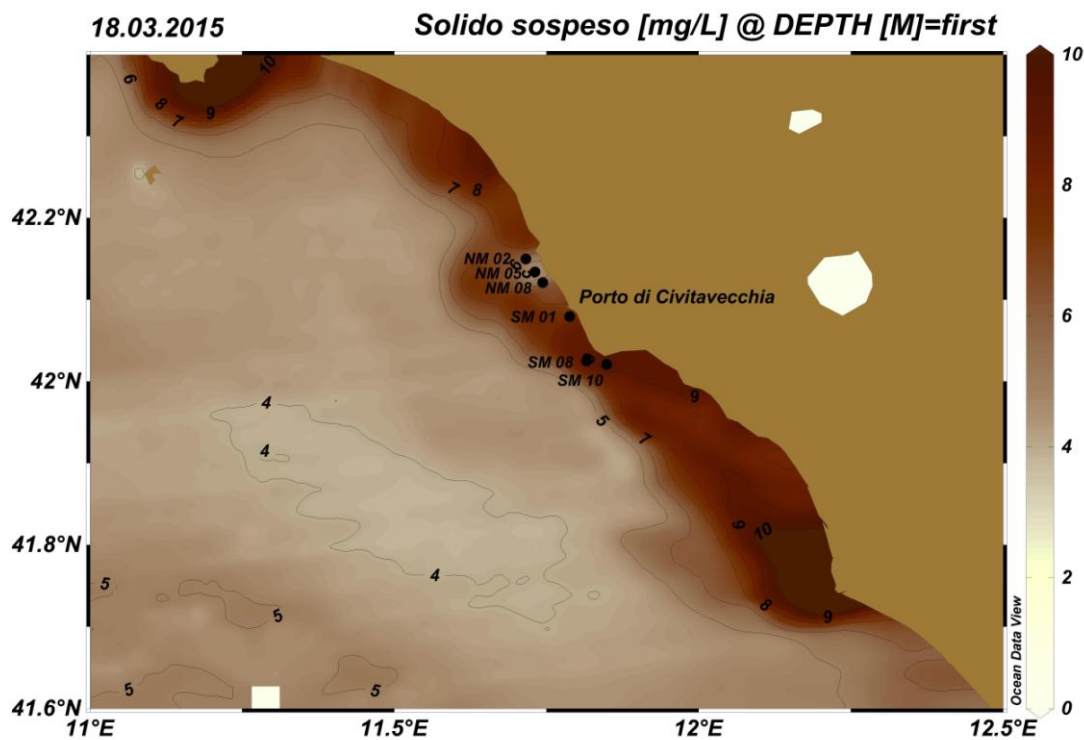
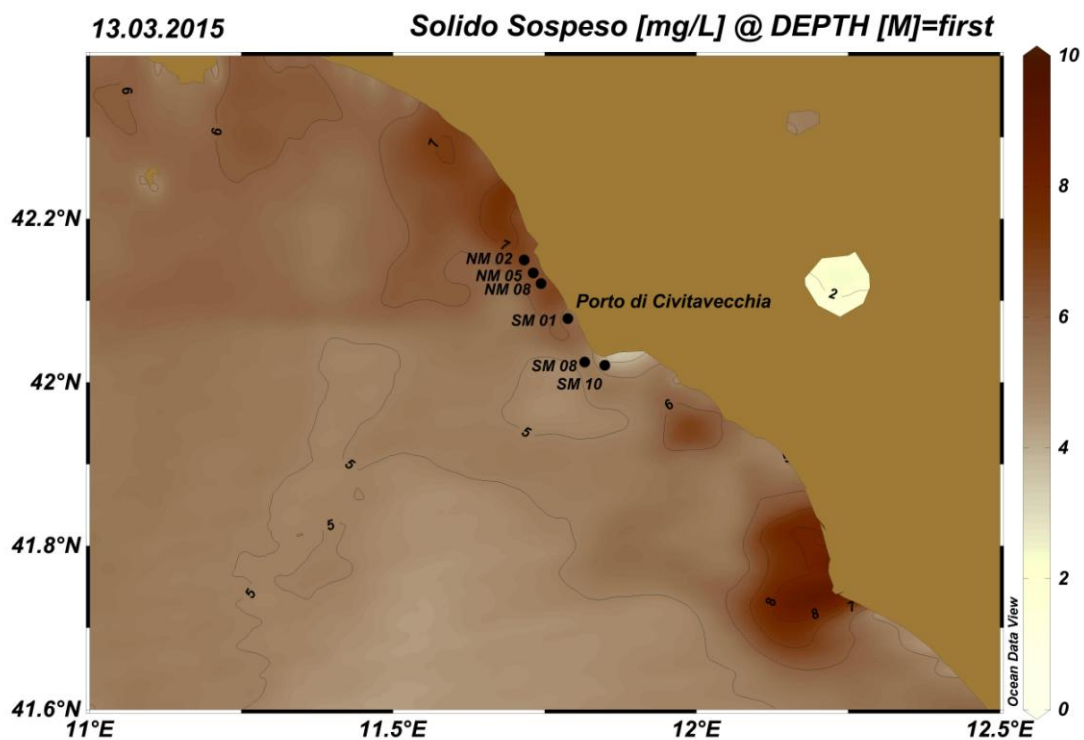
Mappe satellitari di distribuzione del solido sospeso

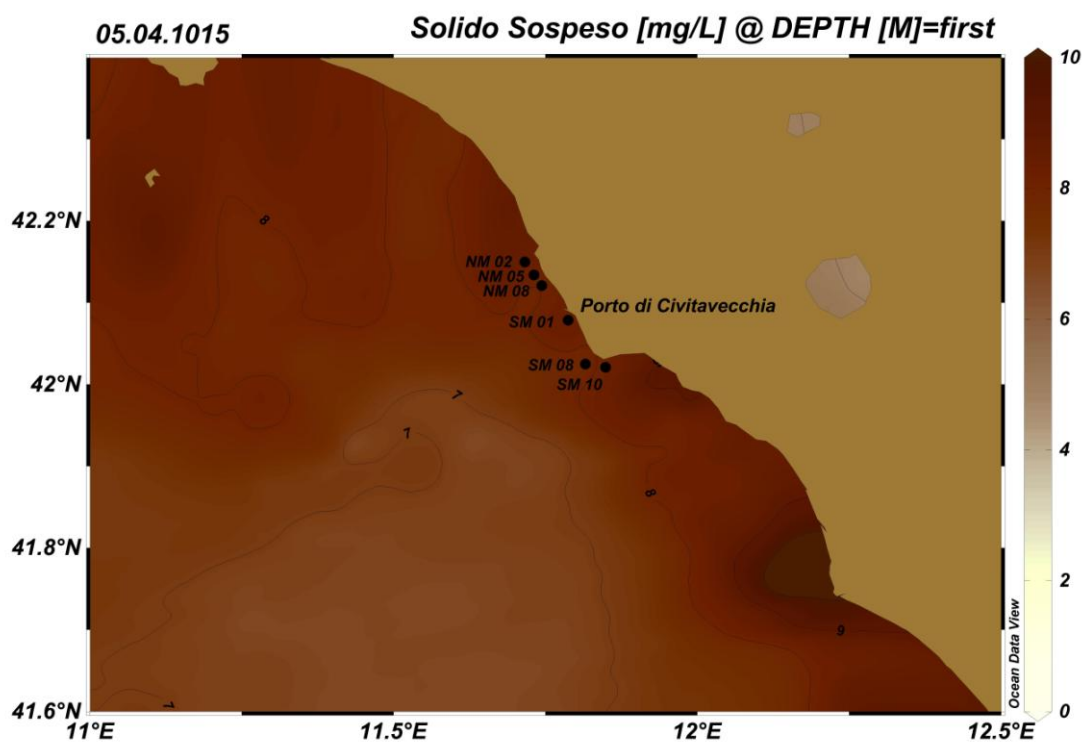
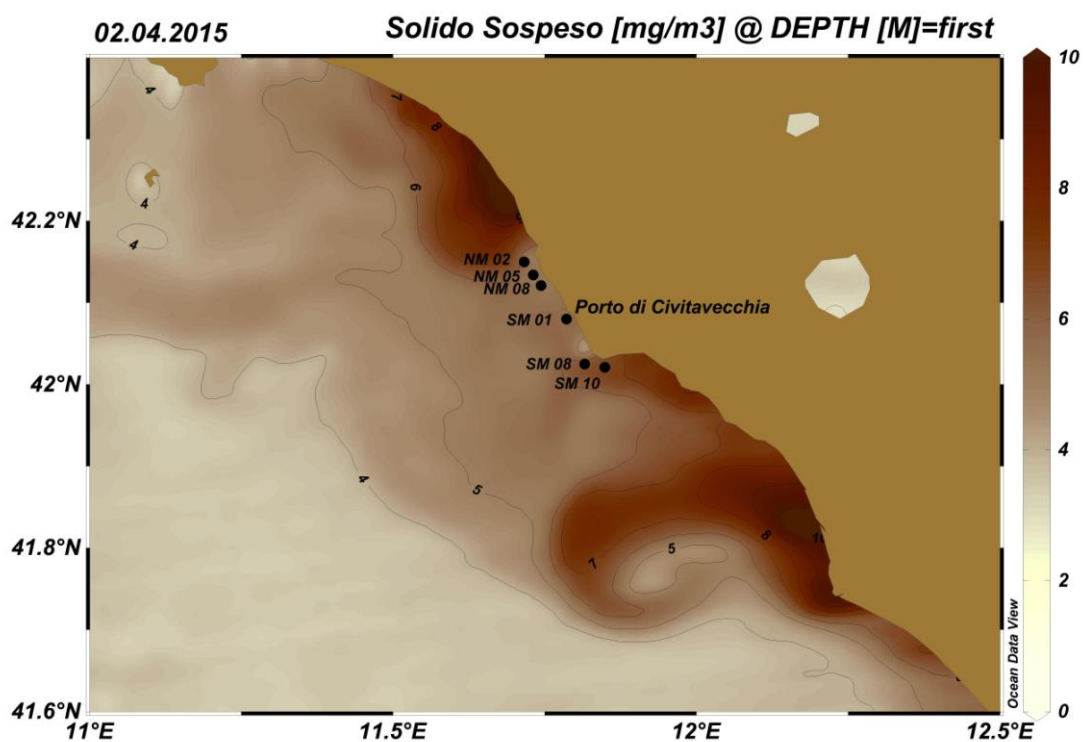


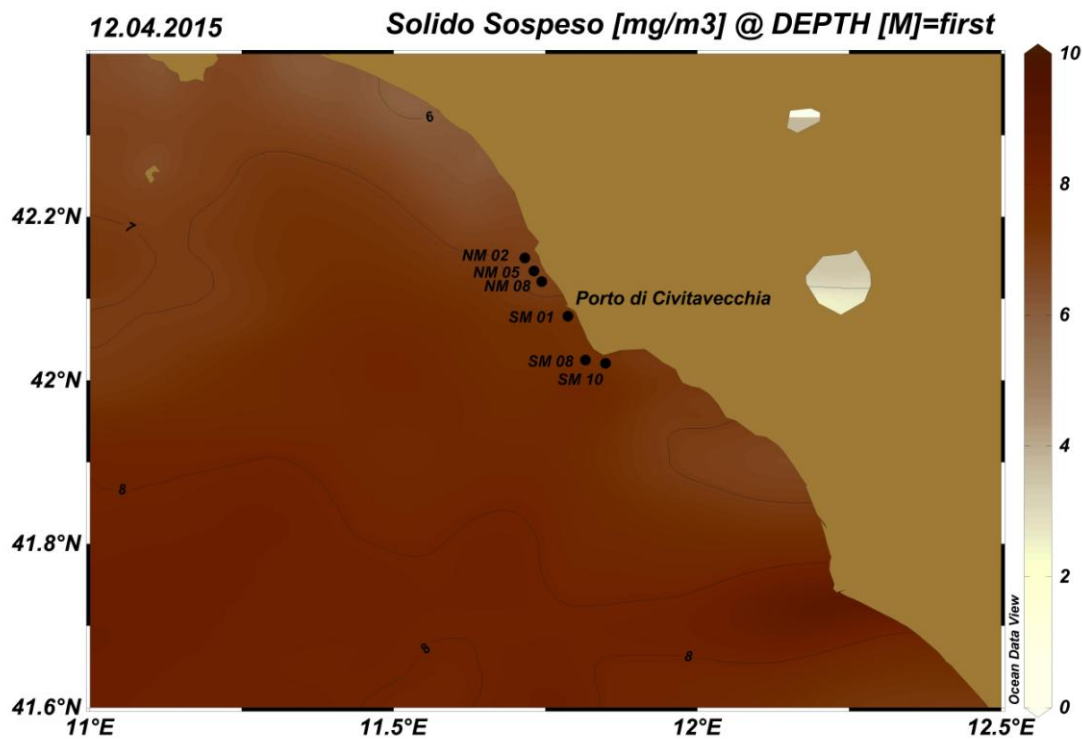
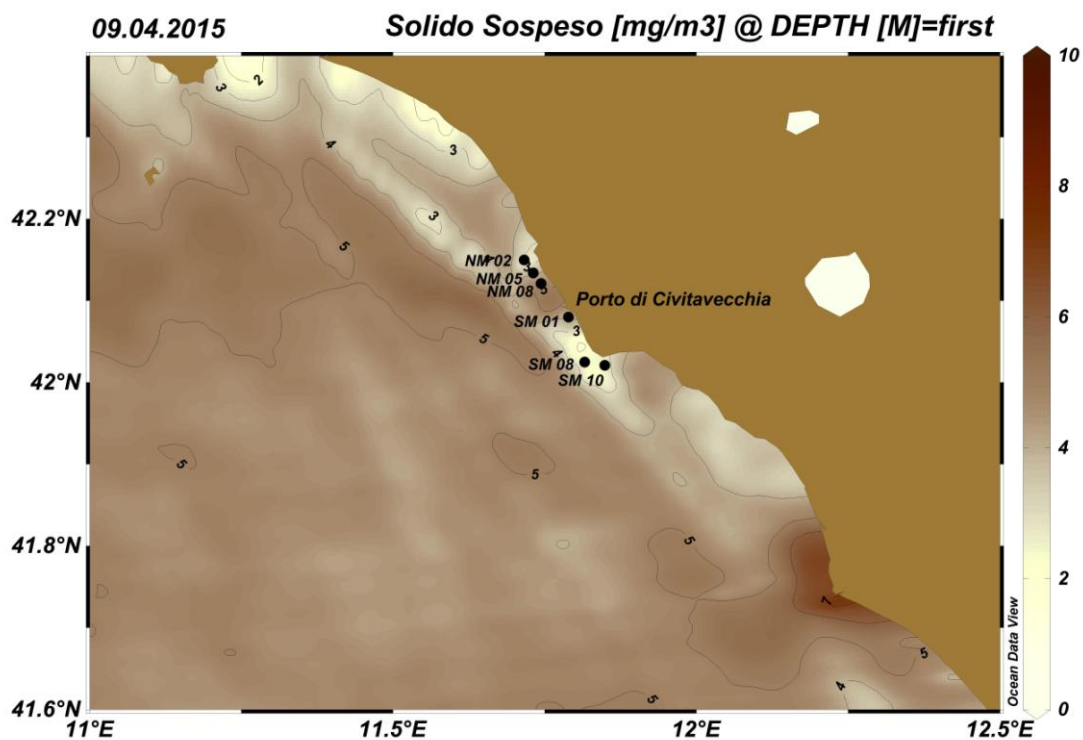












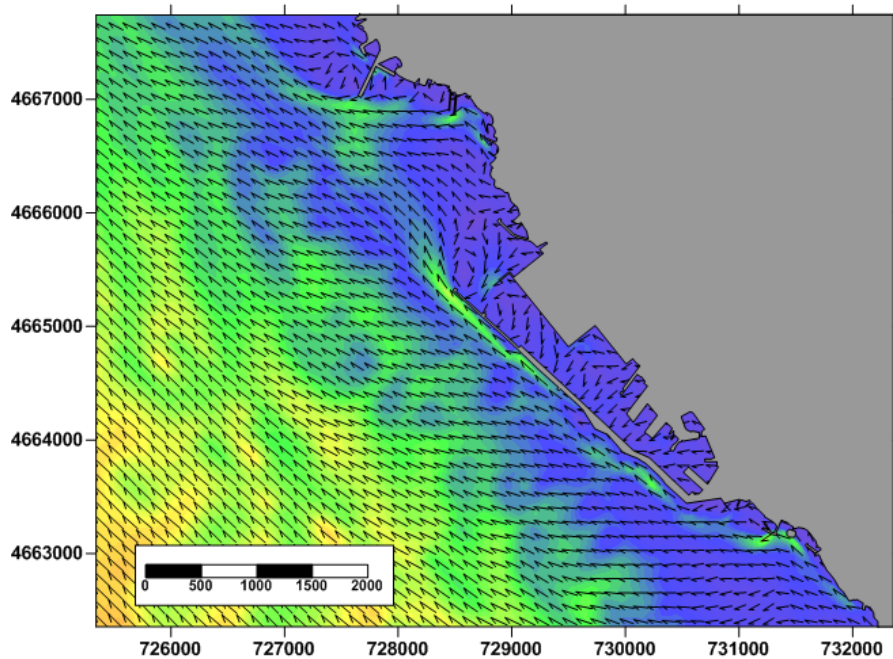
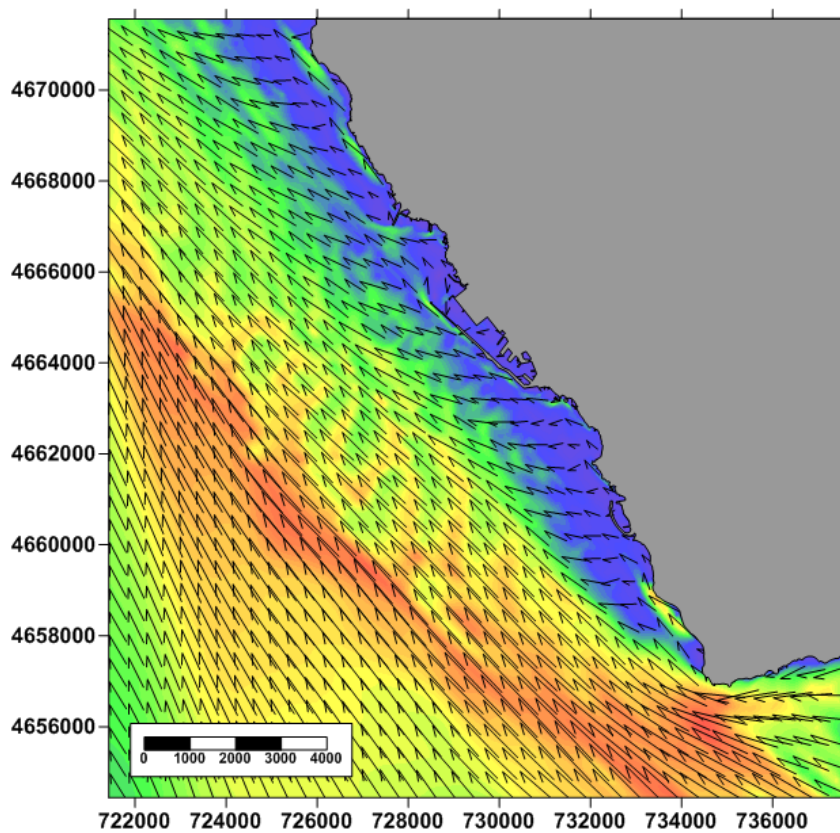


Laboratorio di Oceanologia Sperimentale ed Ecologia Marina
DEB – Università degli Studi della Tuscia

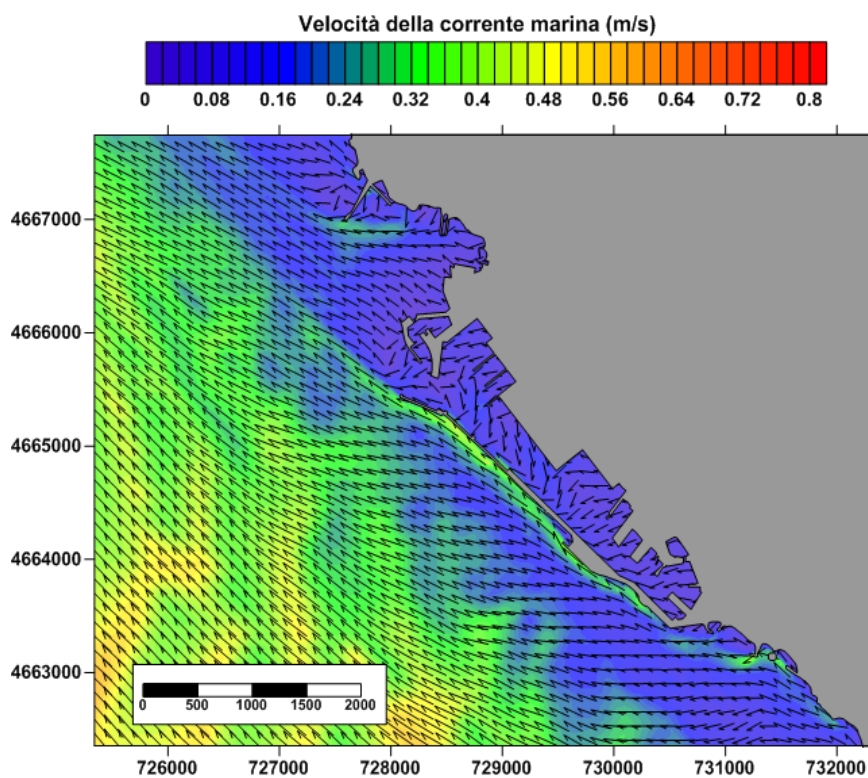
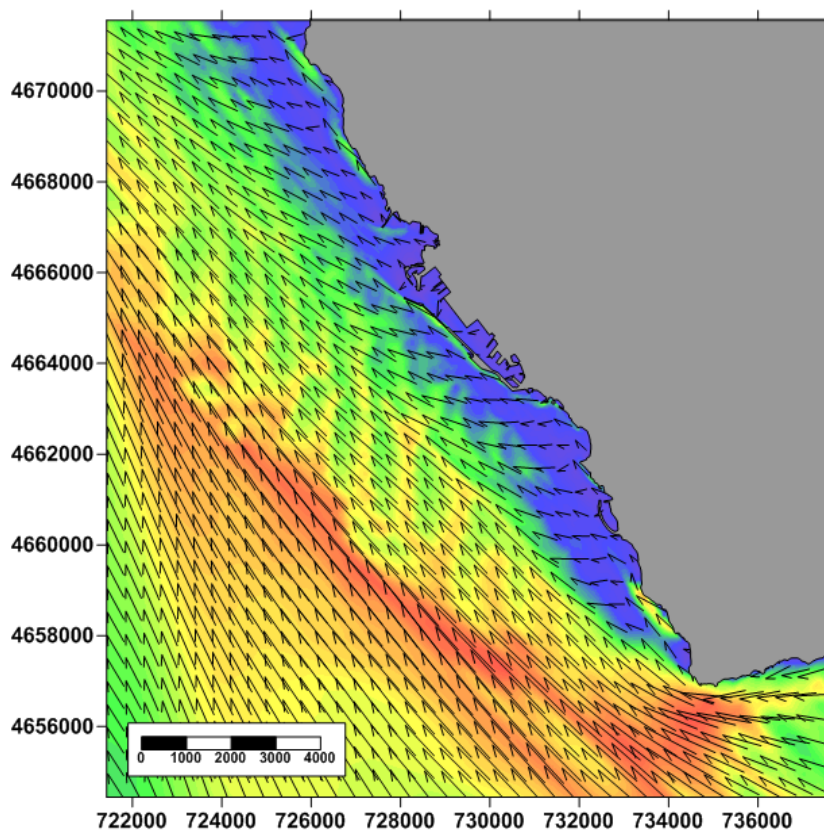
ALLEGATO C

Risultati delle simulazioni del campo idrodinamico

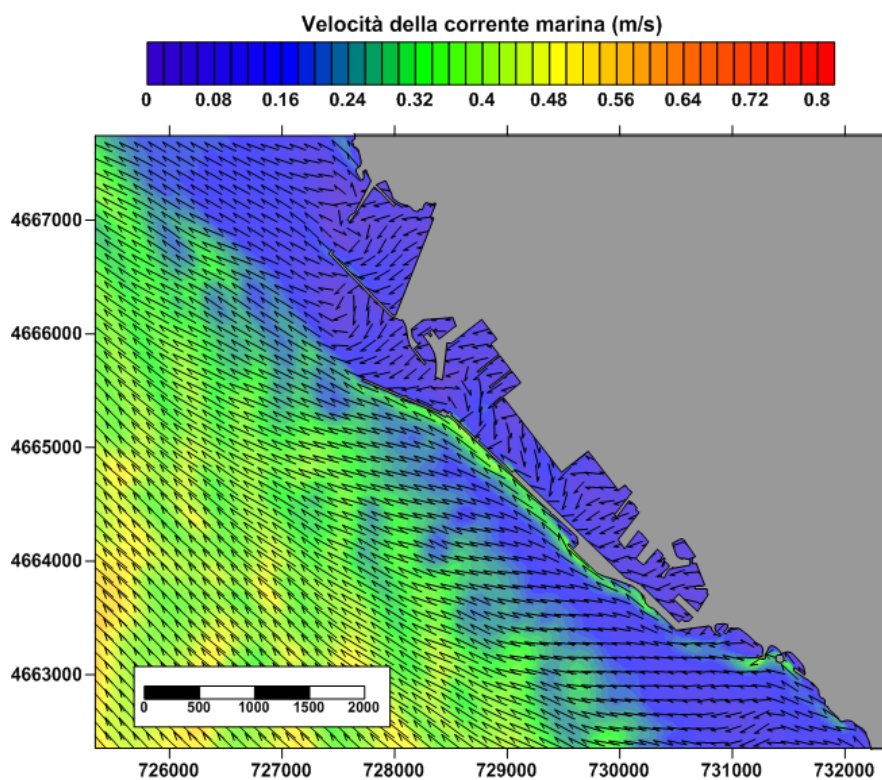
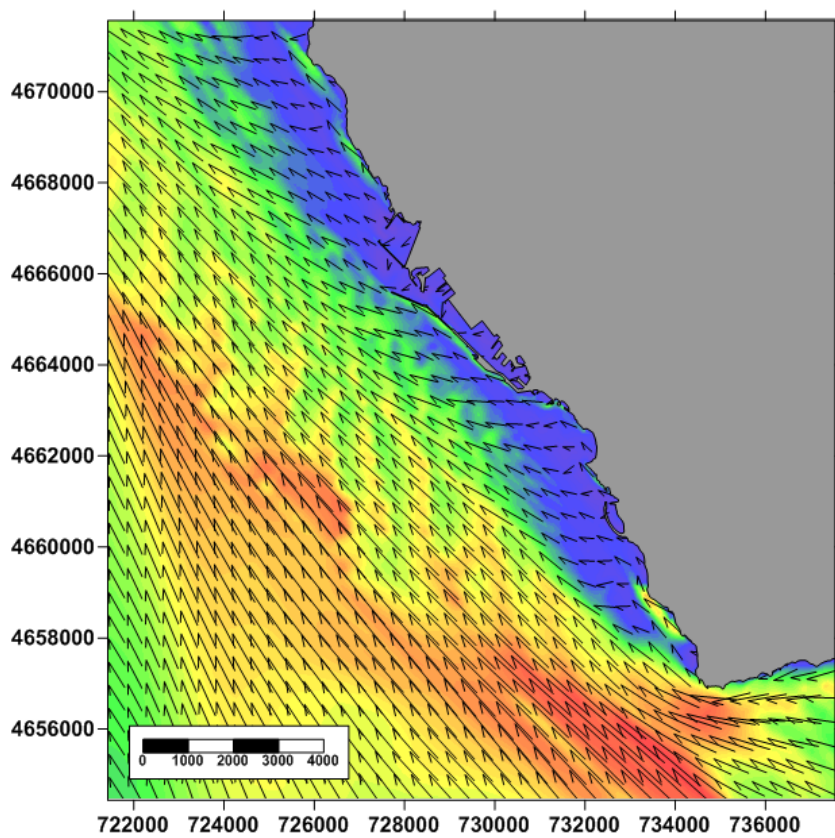
Mezzogiorno - Situazione antecedente al 2012



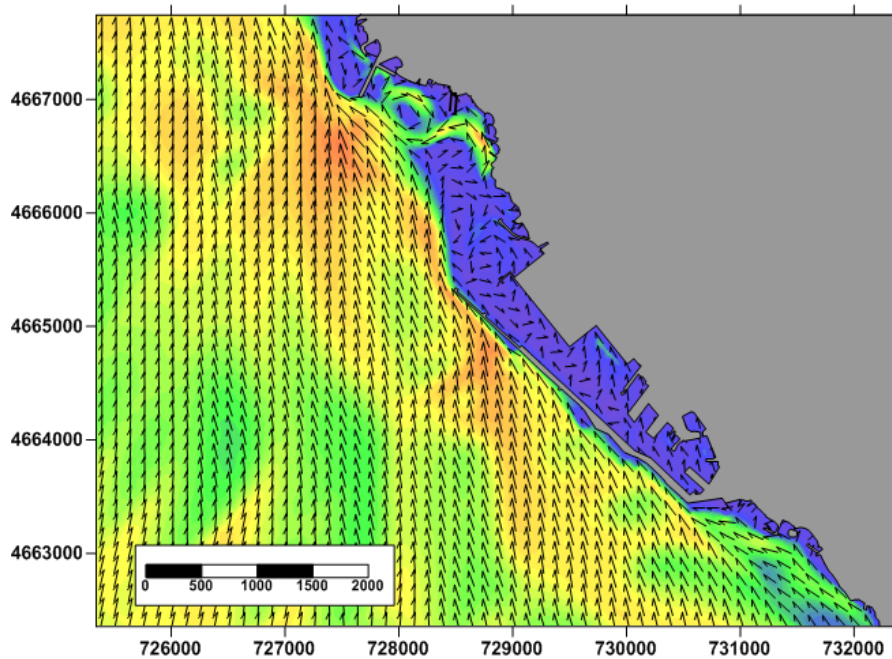
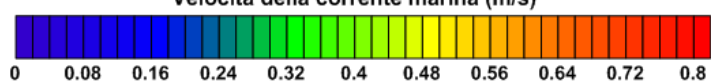
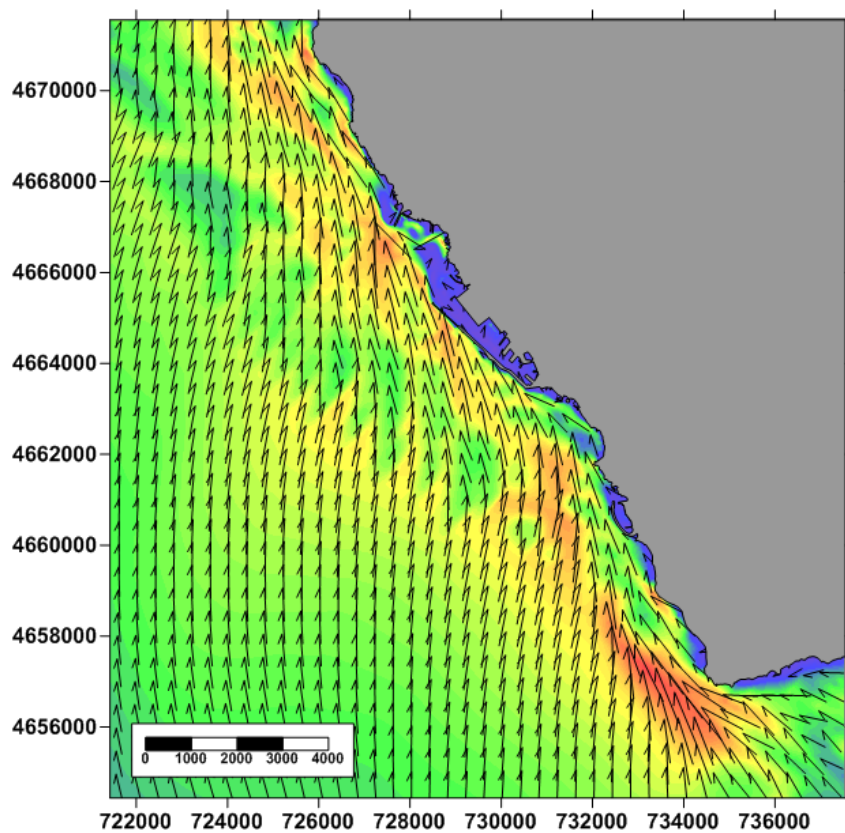
Mezzogiorno - 1 Lotto Funzionale



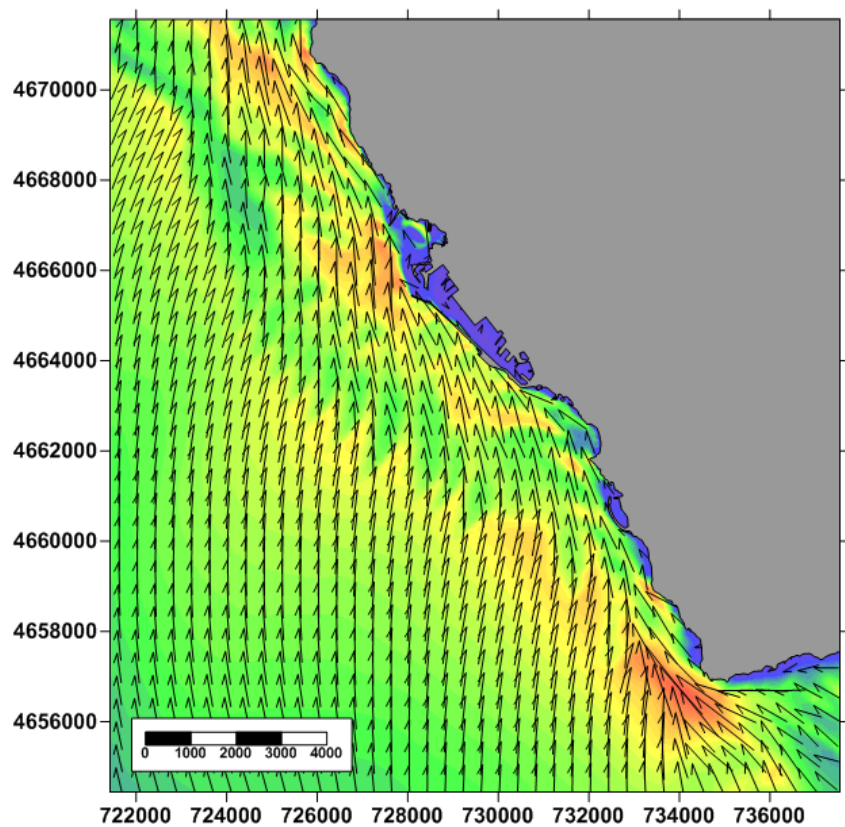
Mezzogiorno - DEGM



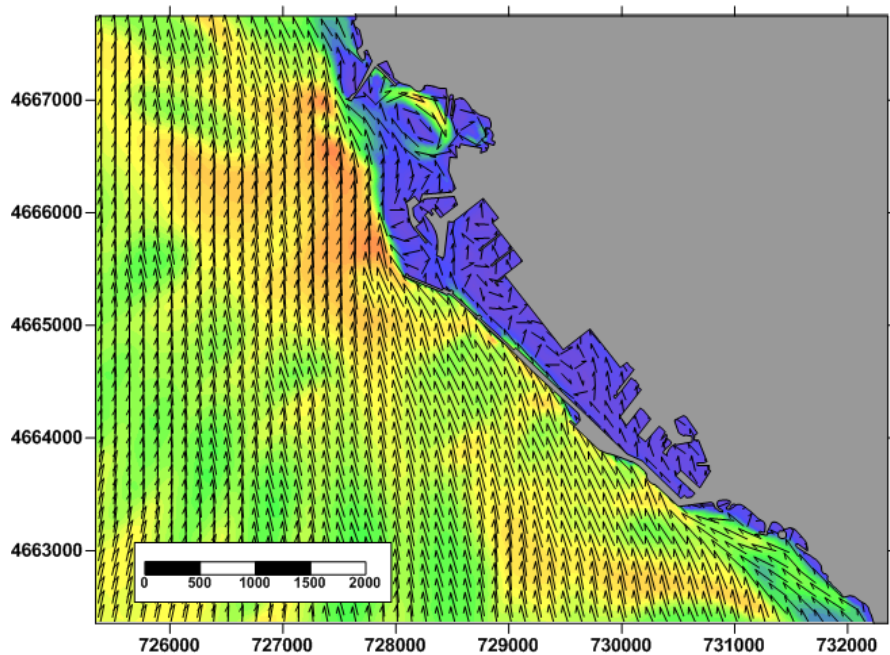
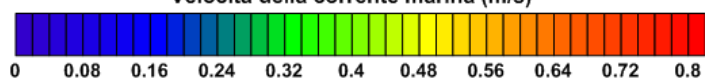
Libeccio/Mezzogiorno - Situazione antecedente al 2012



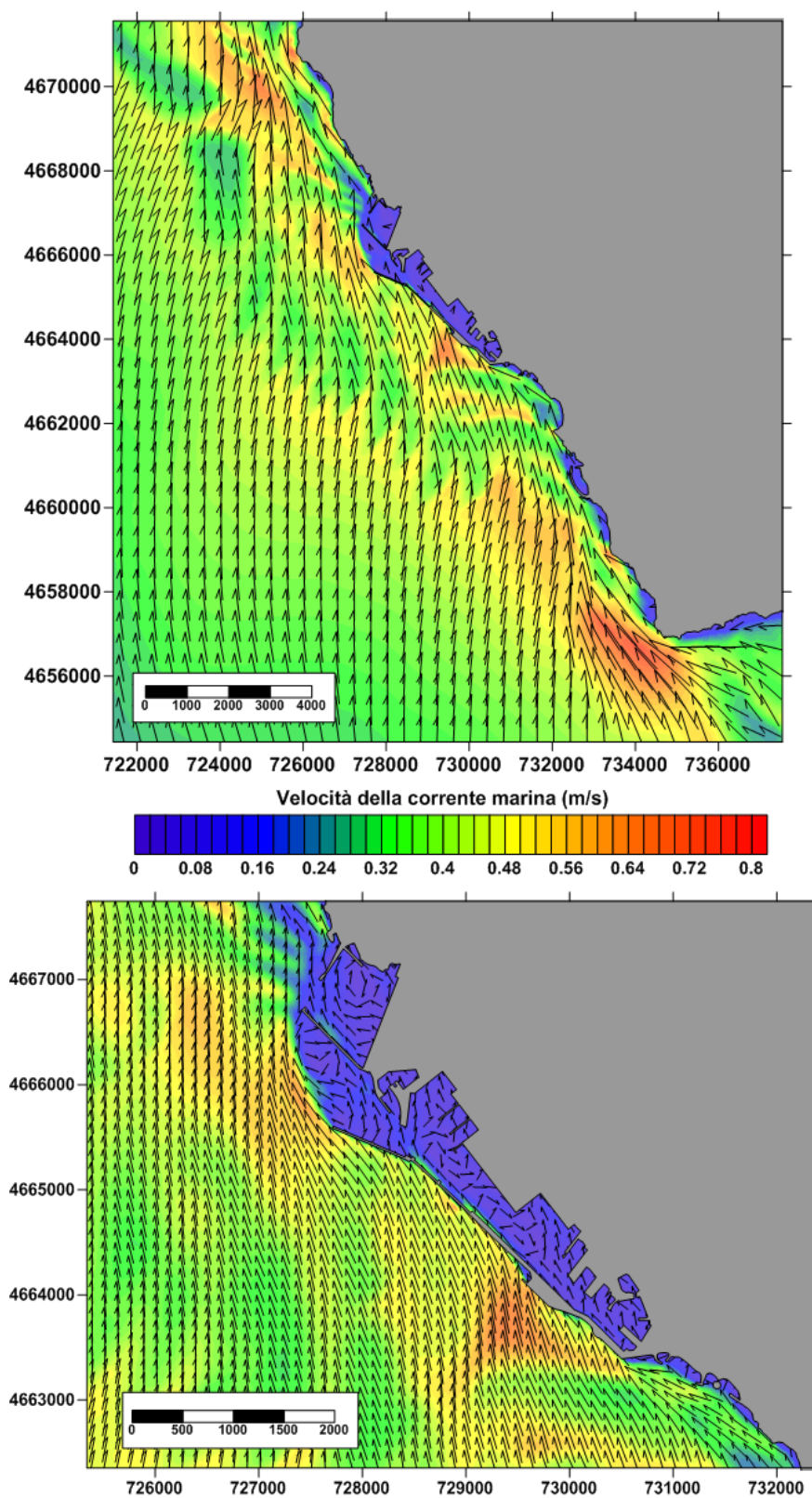
Libeccio/Mezzogiorno - 1 Lotto Funzionale



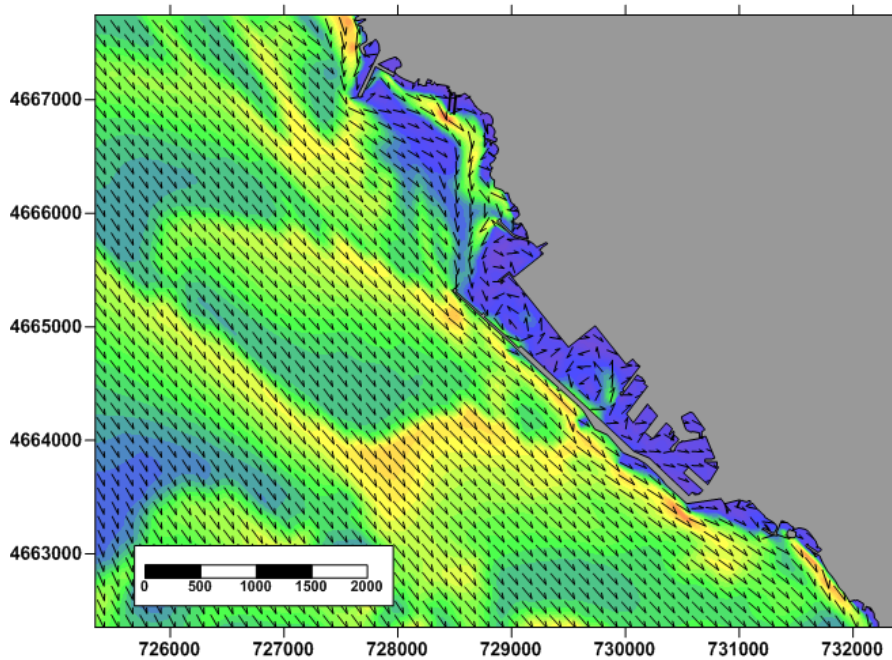
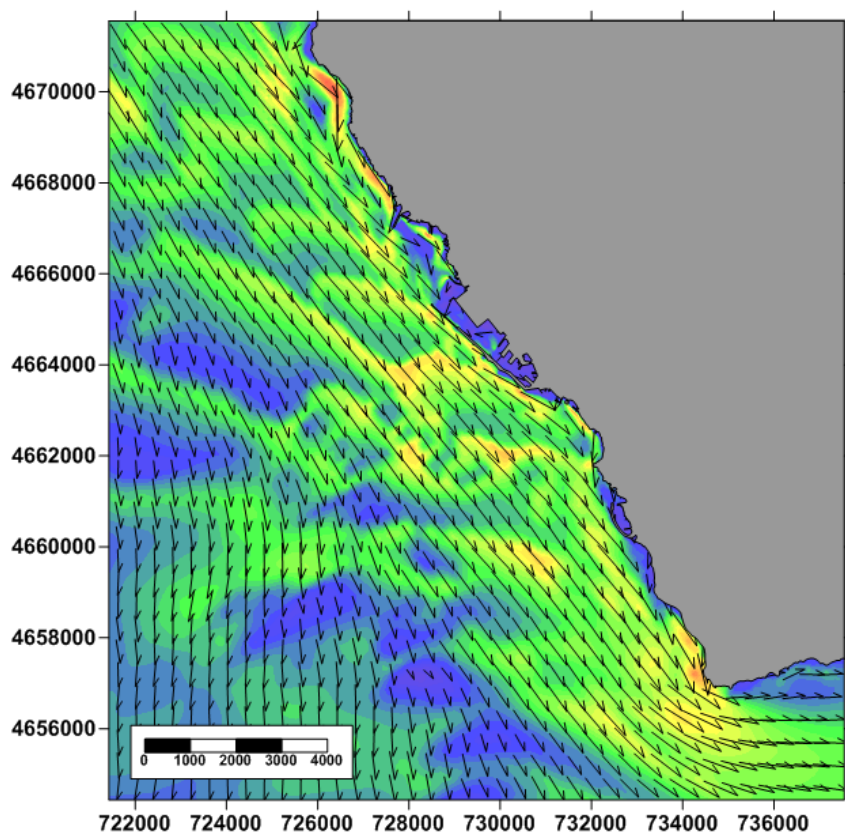
Velocità della corrente marina (m/s)



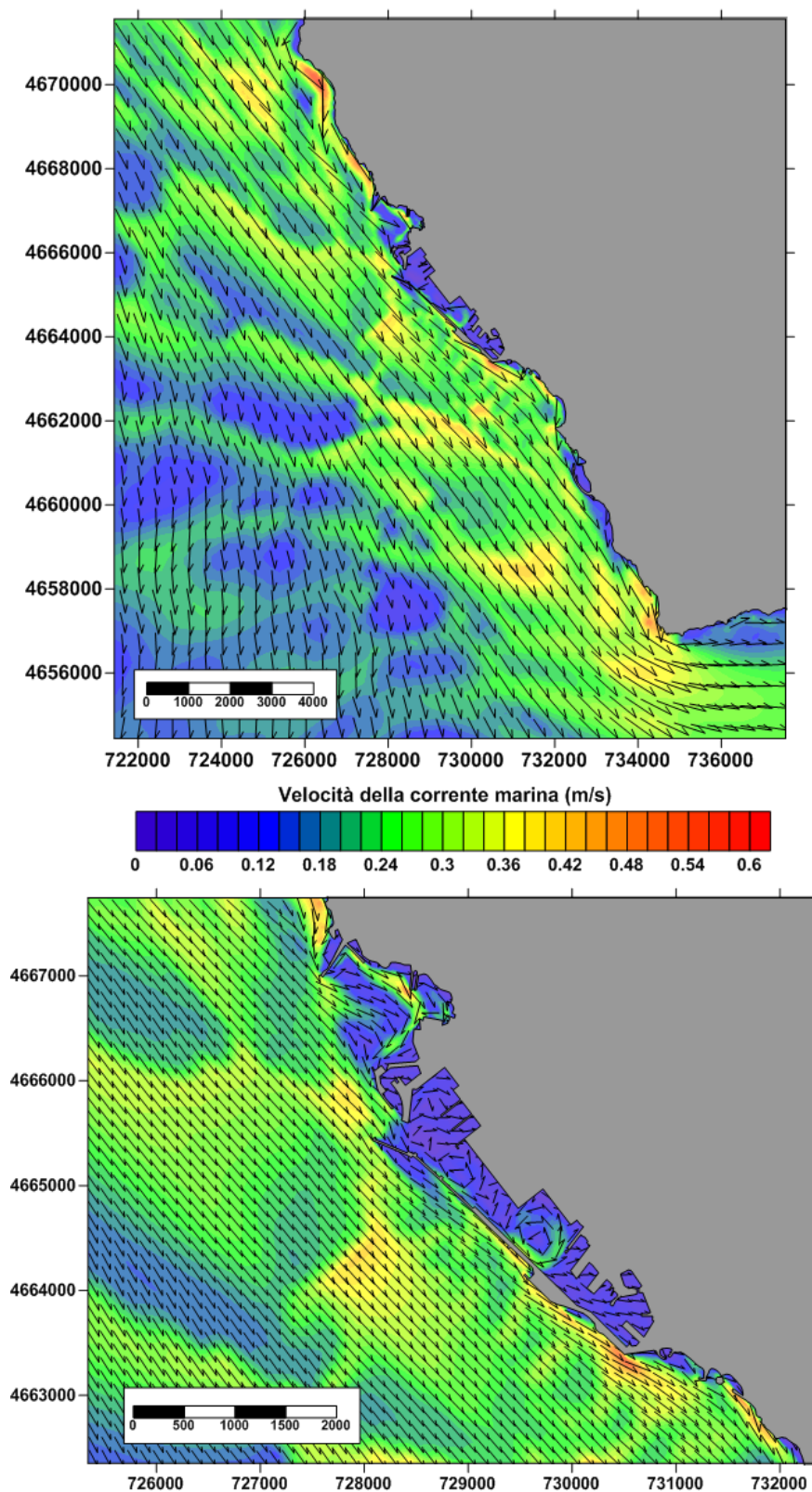
Libeccio/Mezzogiorno - DEGM



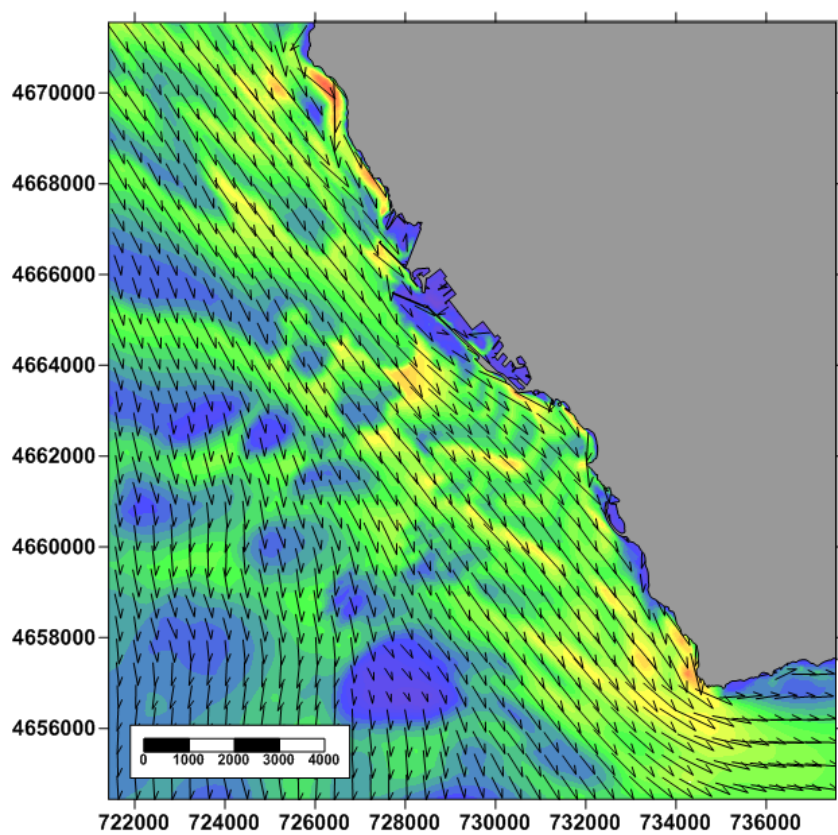
Ponente - Situazione antecedente al 2012



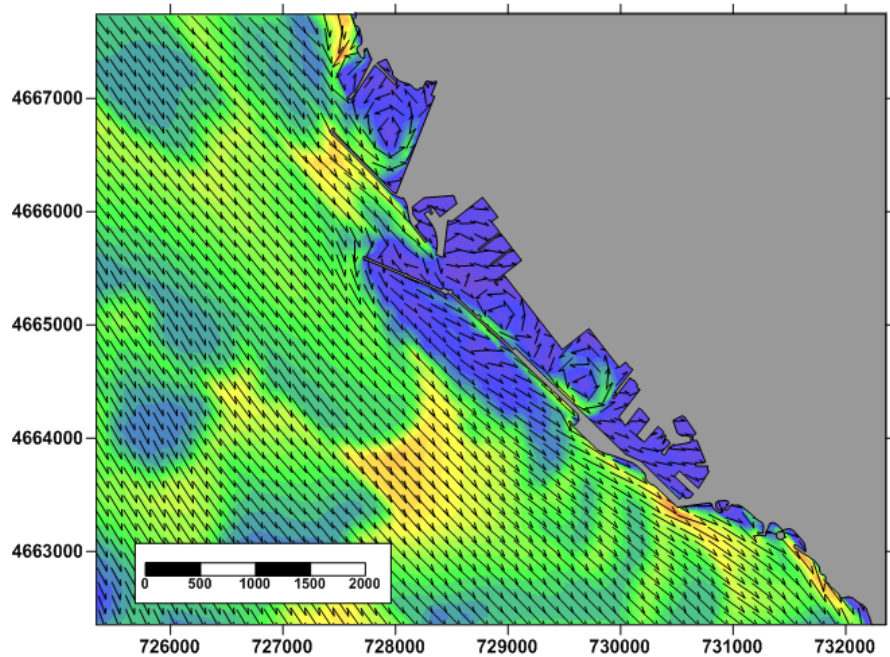
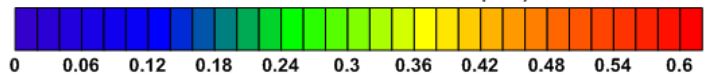
Ponente - 1 Lotto Funzionale



Ponente - DEGM



Velocità della corrente marina (m/s)



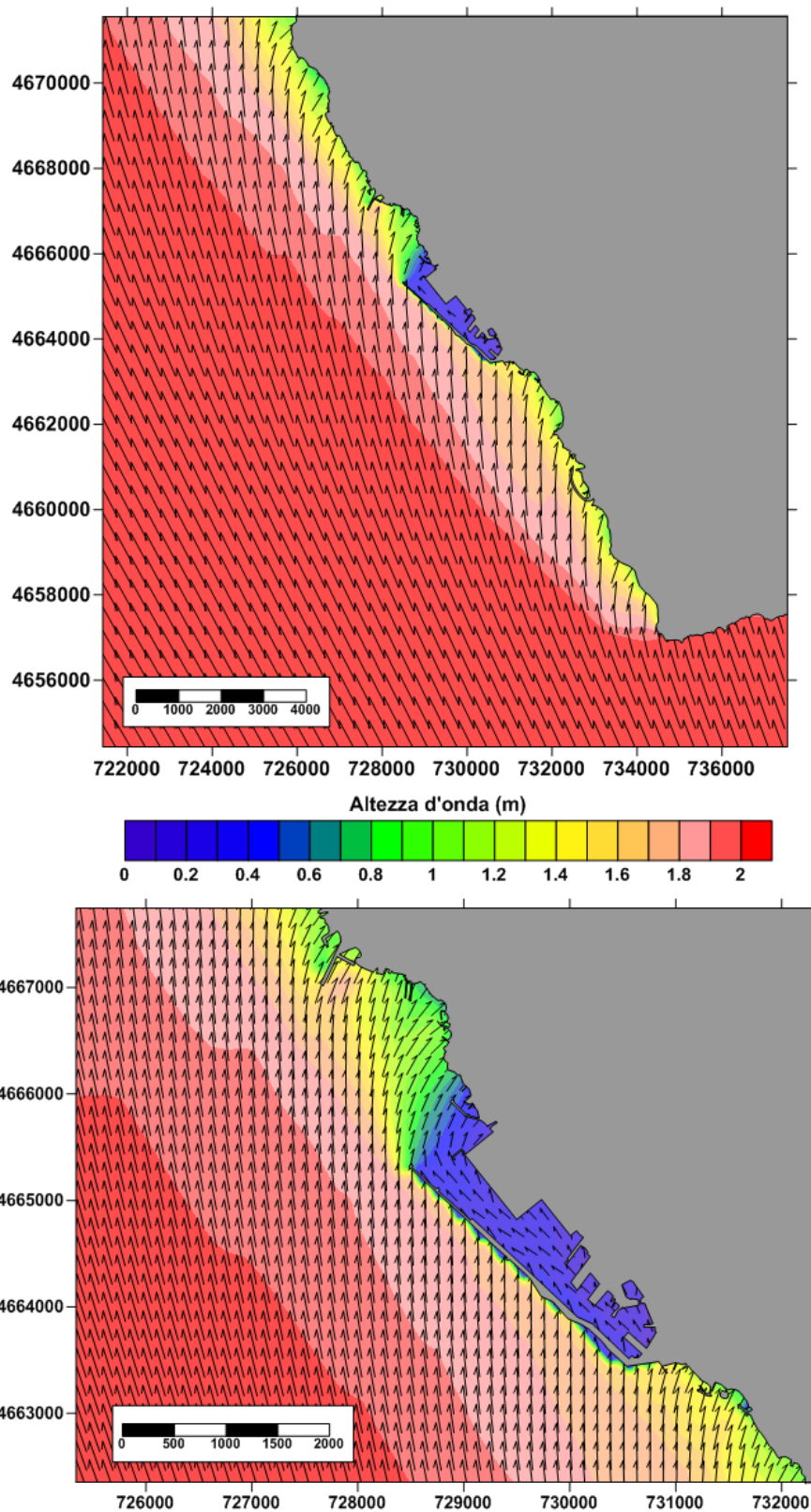


Laboratorio di Oceanologia Sperimentale ed Ecologia Marina
DEB – Università degli Studi della Tuscia

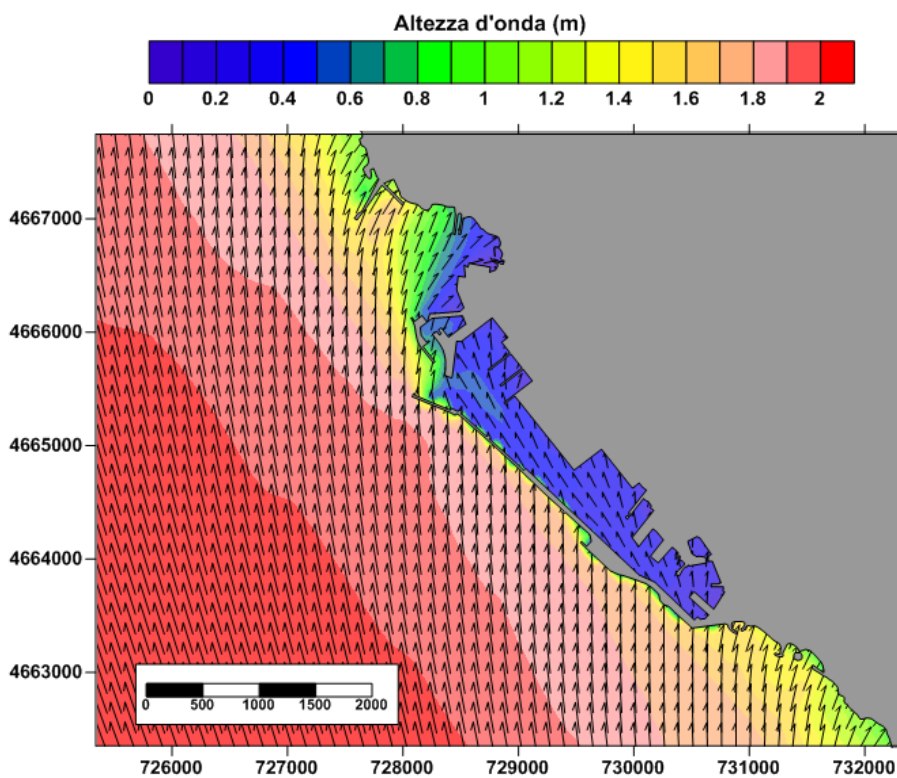
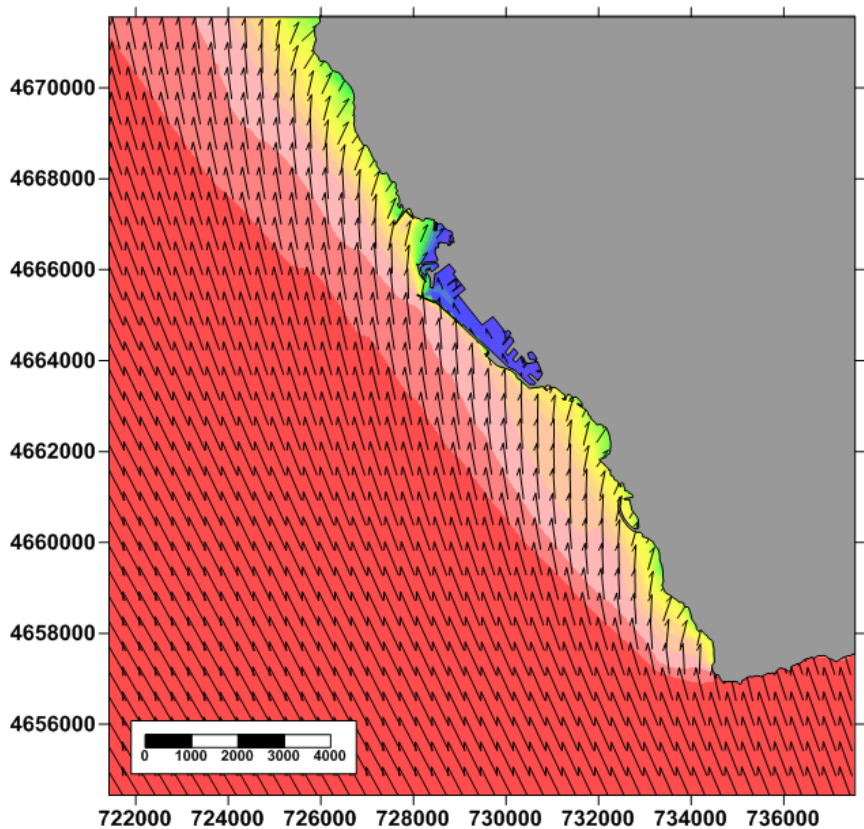
ALLEGATO D

Risultati delle simulazioni del moto ondoso

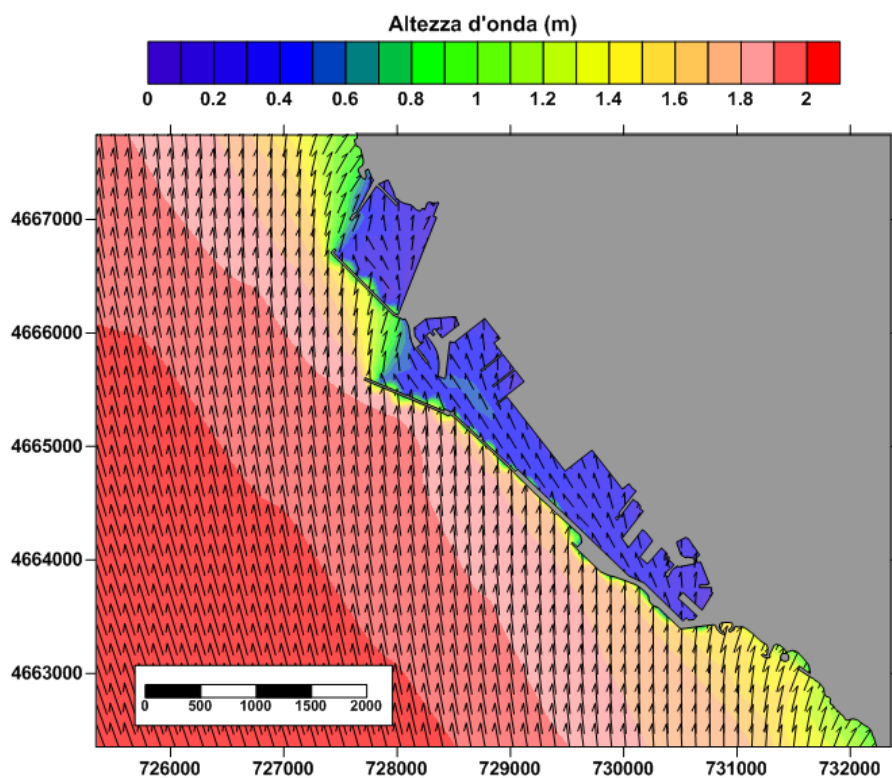
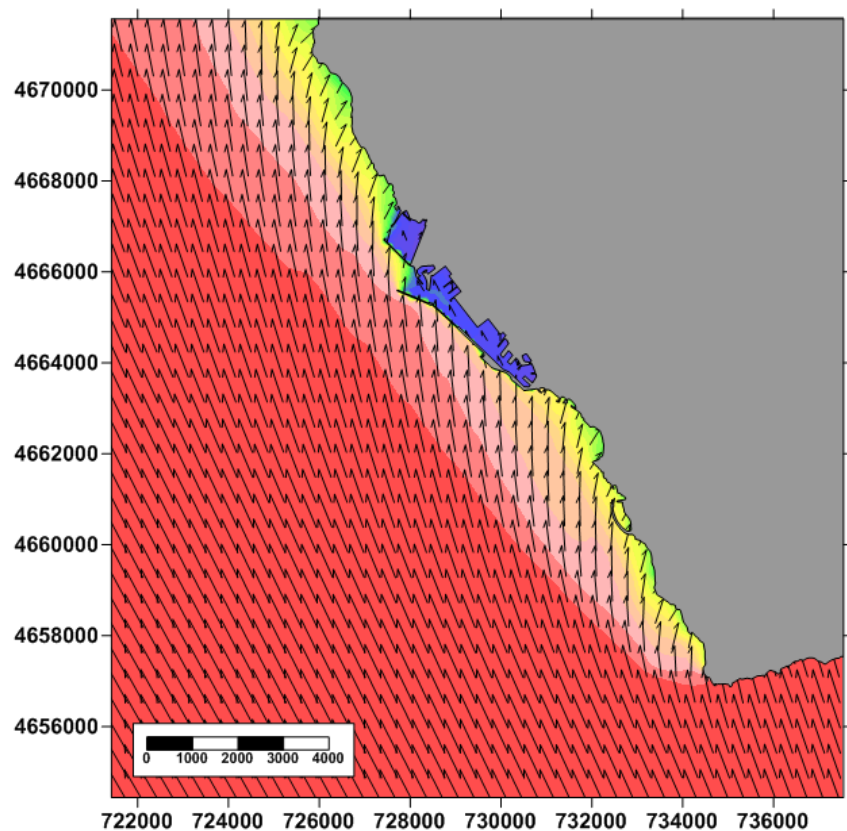
Mezzogiorno - Situazione antecedente al 2012



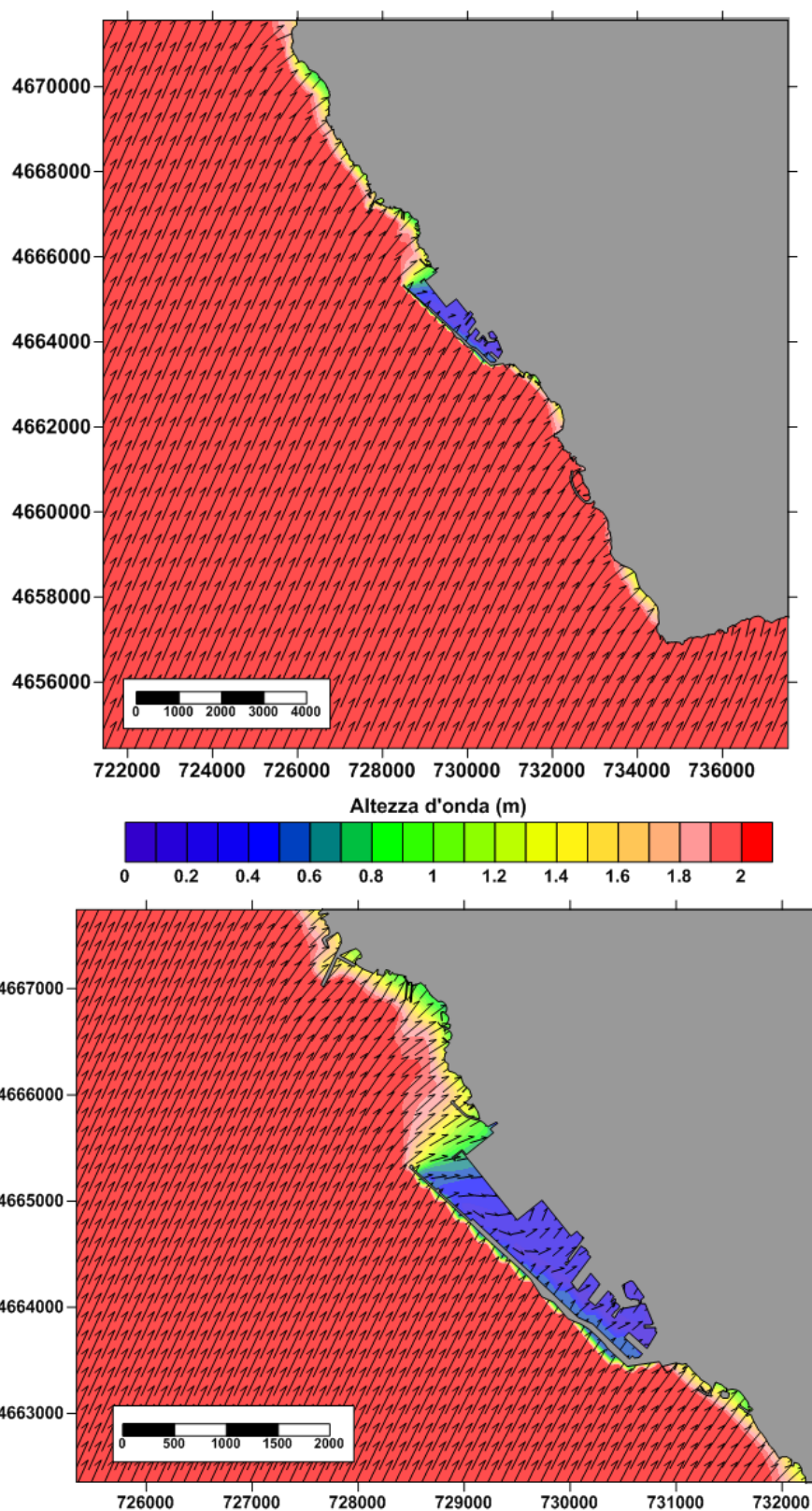
Mezzogiorno -1 Lotto Funzionale



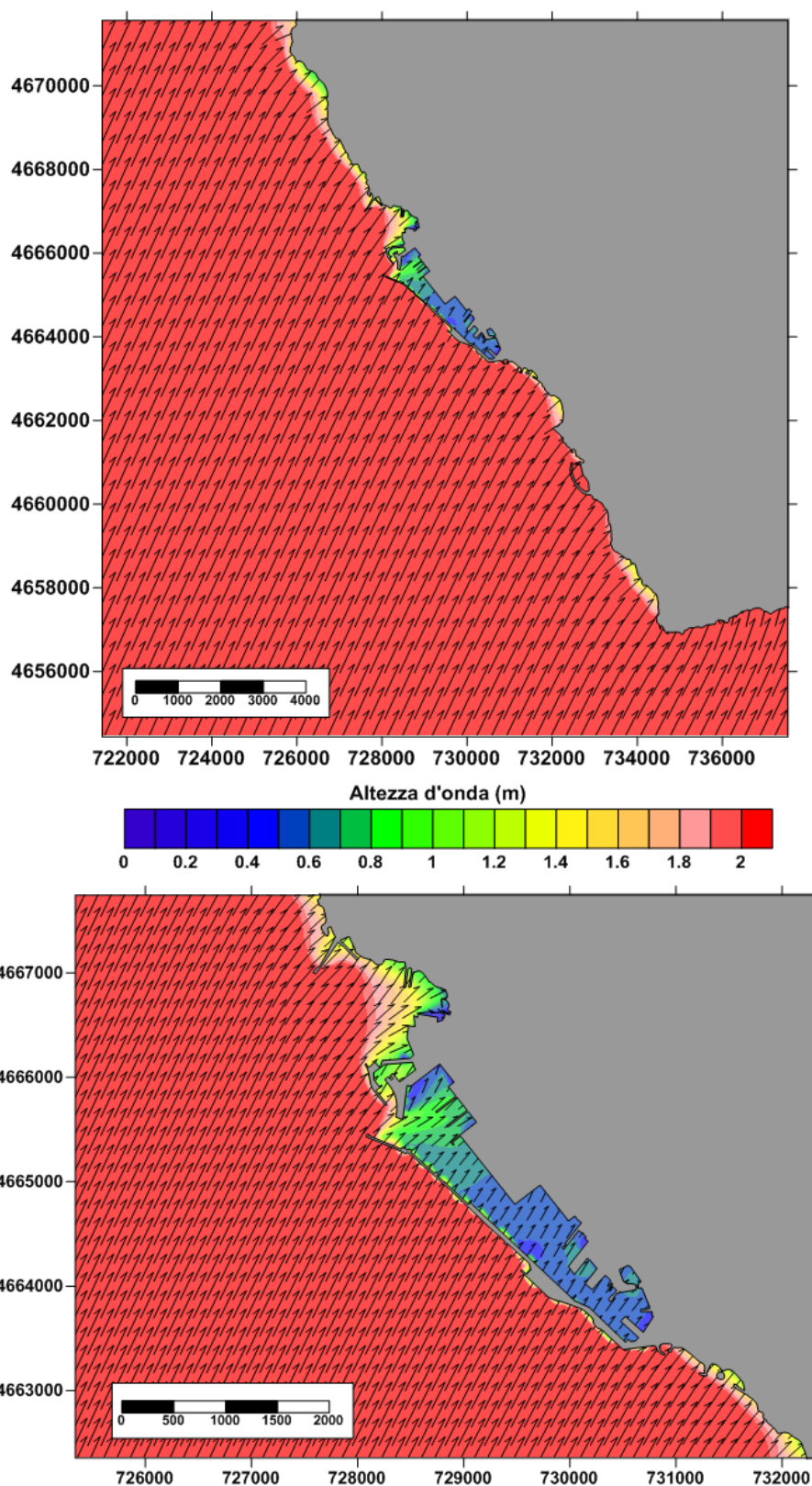
Mezzogiorno - DEGM



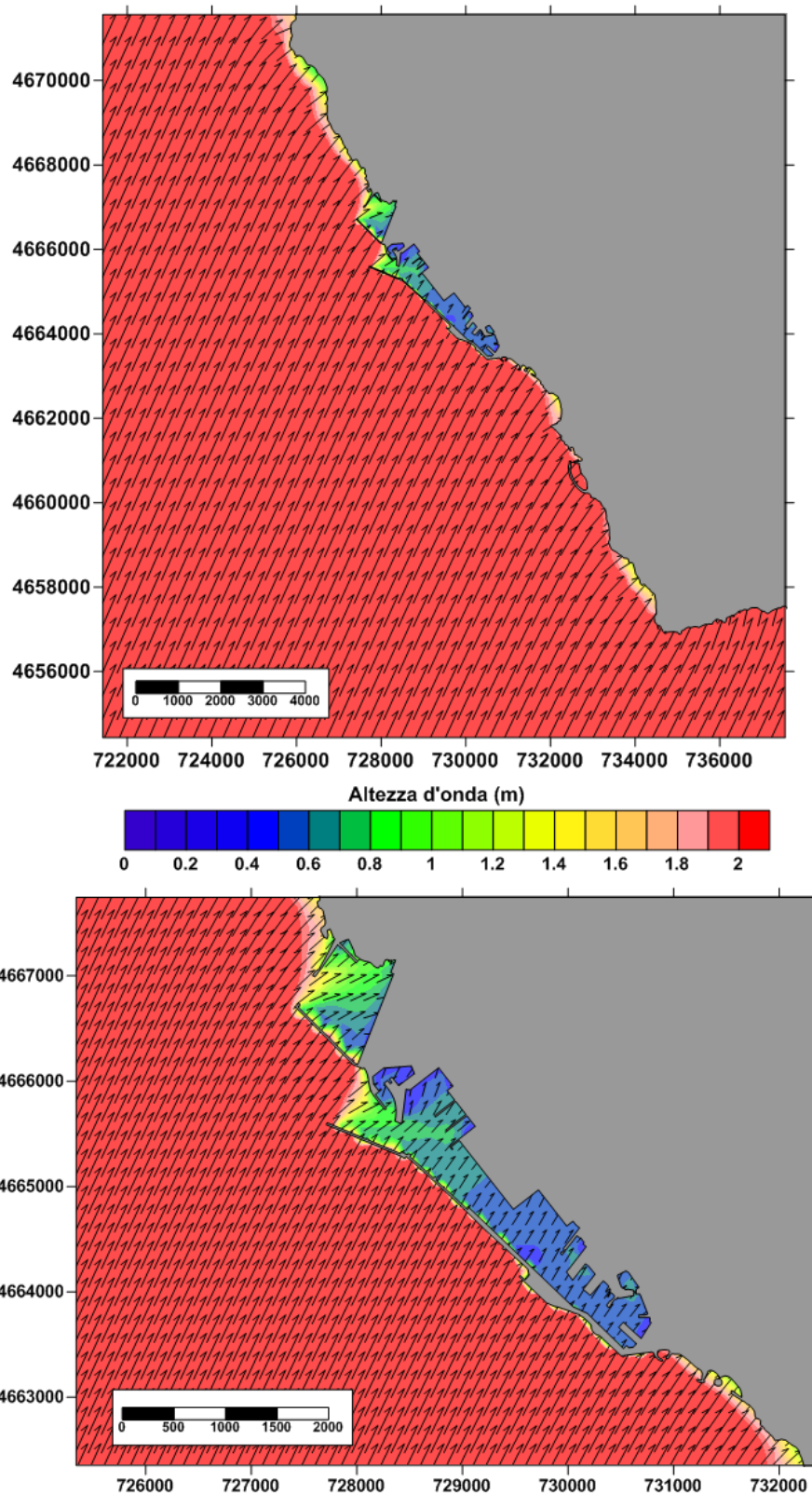
Libeccio/Mezzogiorno - Situazione antecedente al 2012



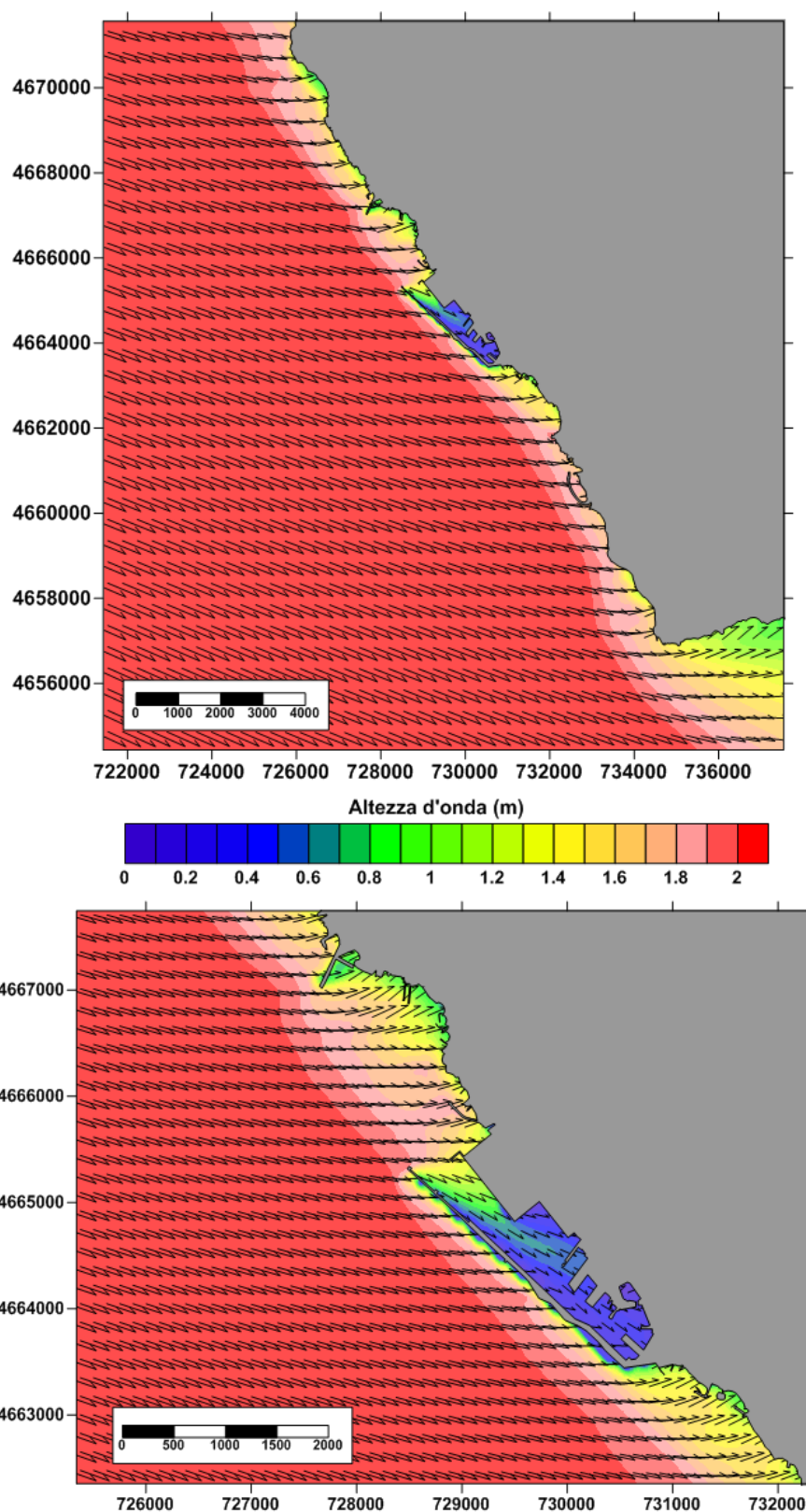
Libeccio/Mezzogiorno -1 Lotto Funzionale



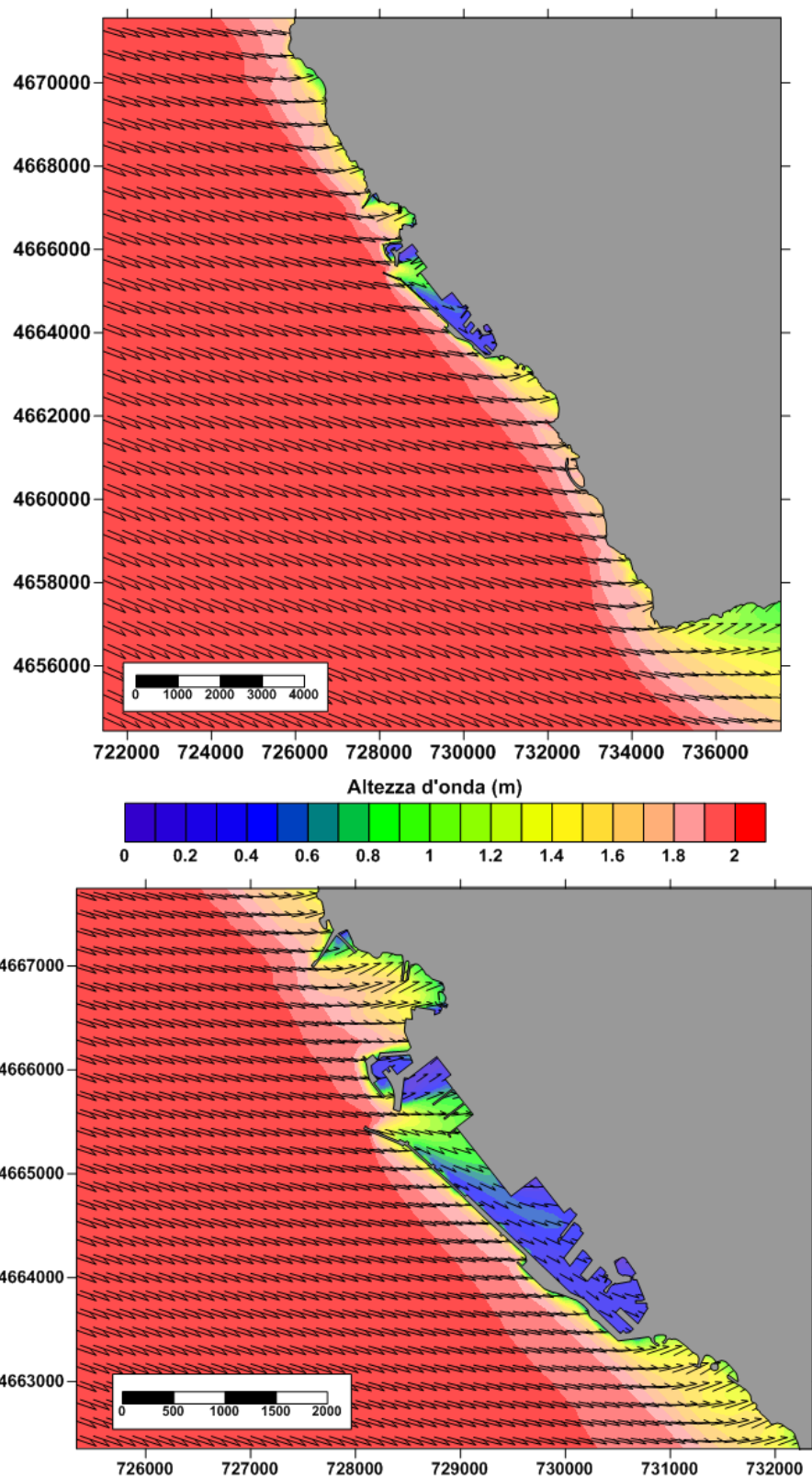
Libeccio/Mezzogiorno - DEGM



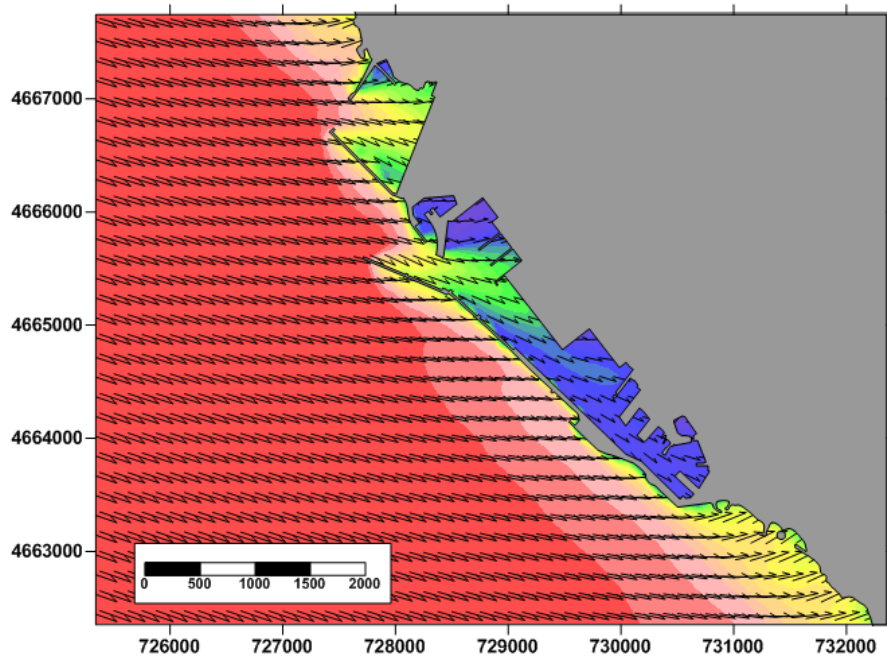
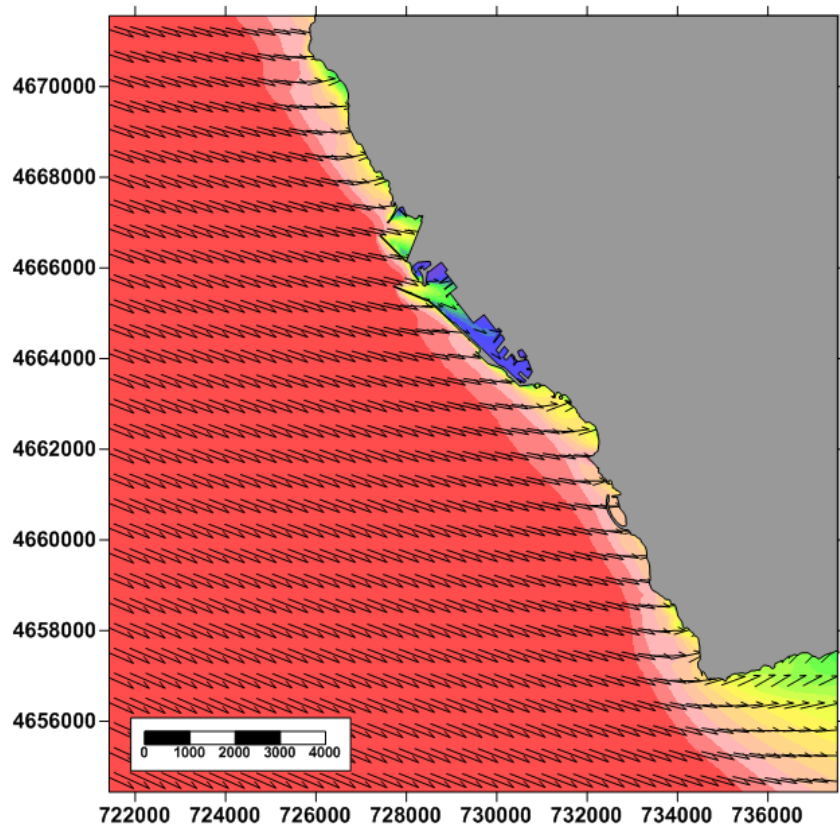
Ponente - Situazione antecedente al 2012



Ponente -1 Lotto Funzionale



Ponente - DEGM



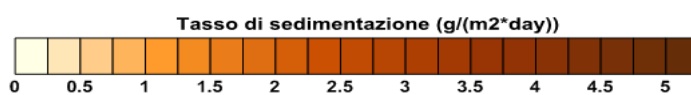
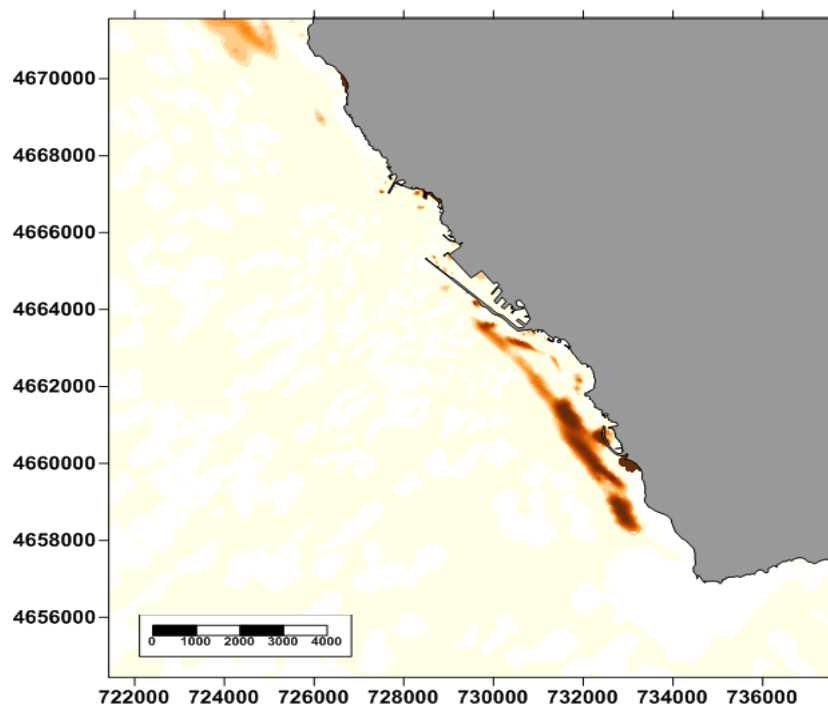
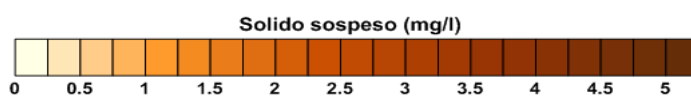
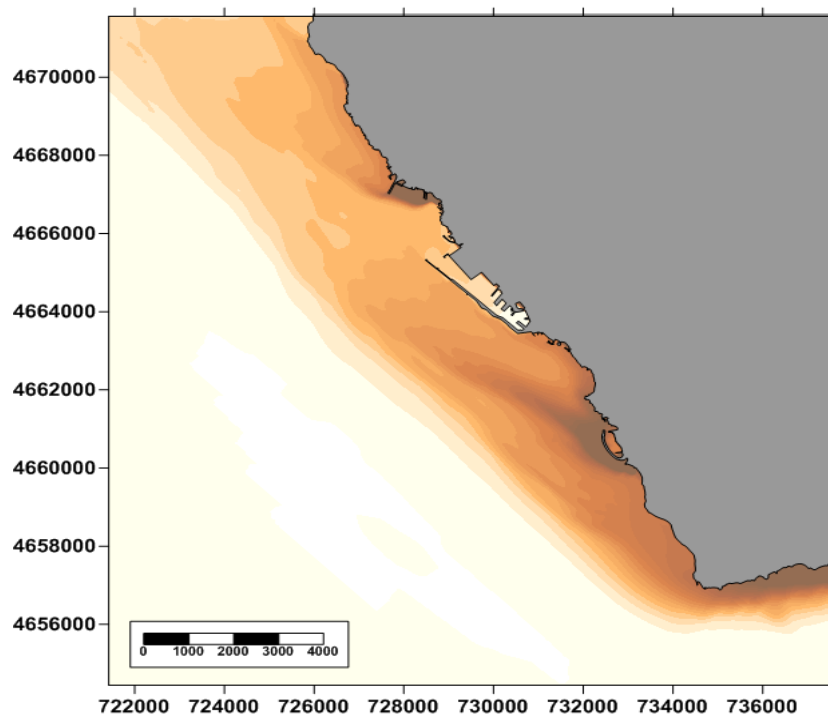


Laboratorio di Oceanologia Sperimentale ed Ecologia Marina
DEB – Università degli Studi della Tuscia

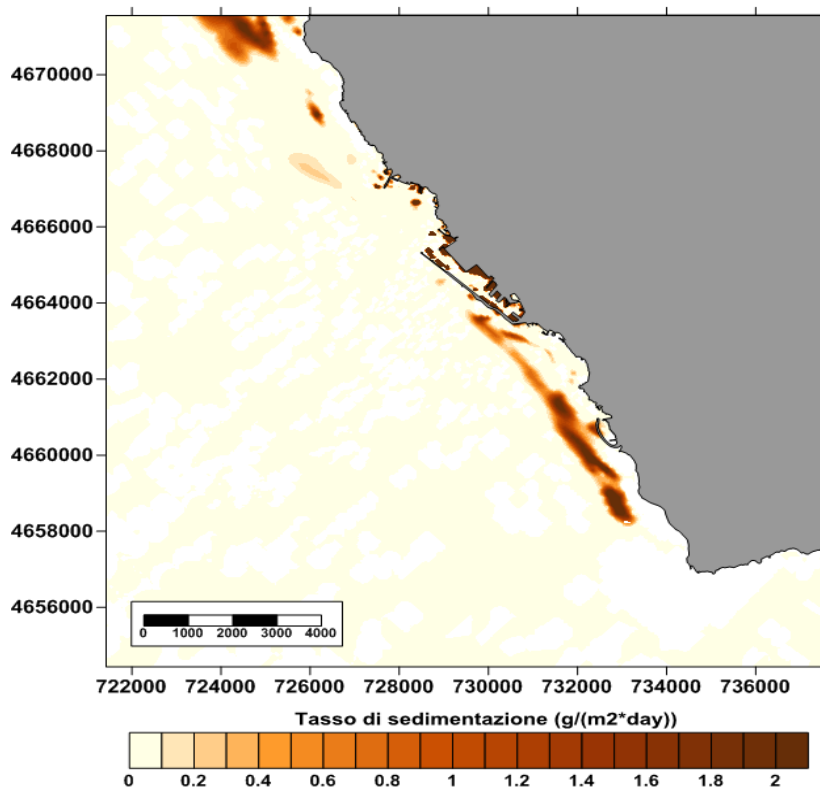
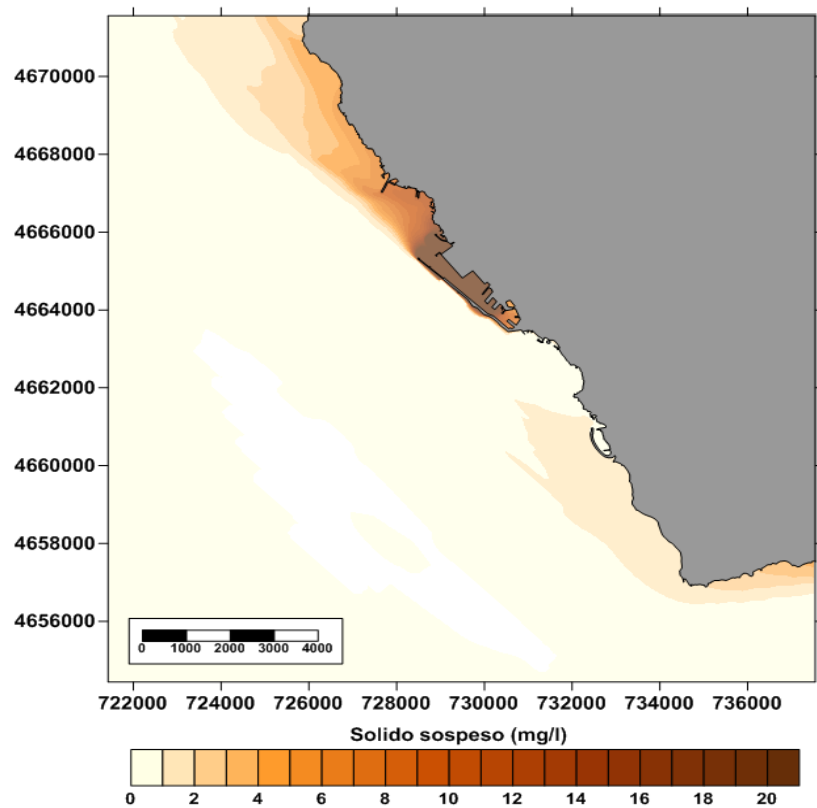
ALLEGATO E

Risultati delle simulazioni di dispersione del sedimento

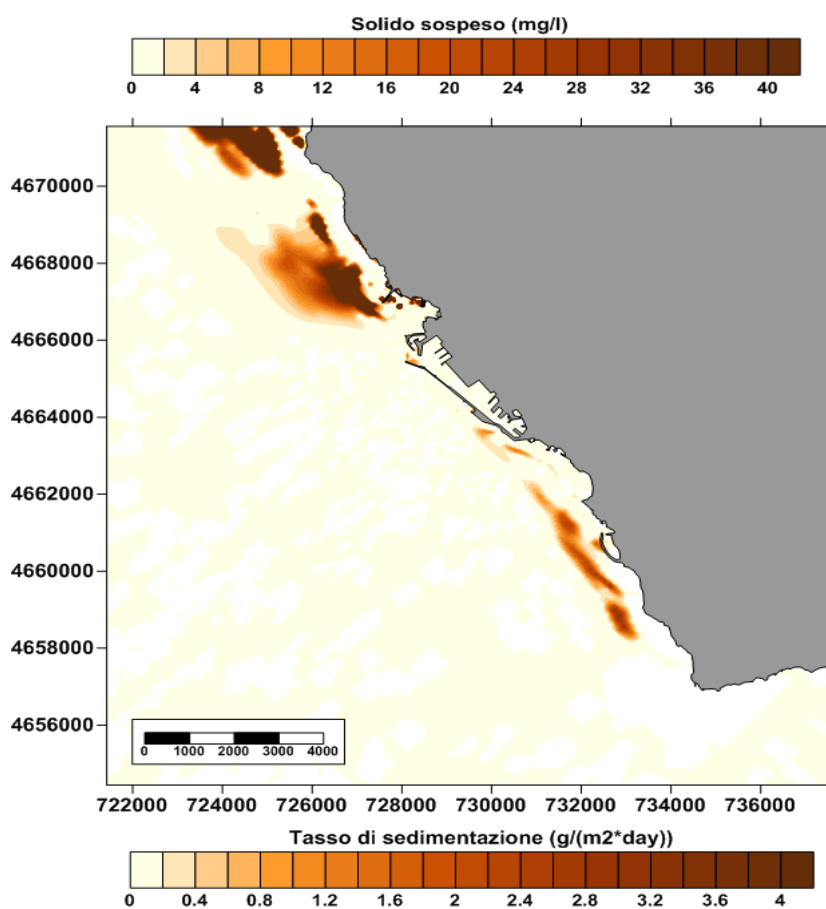
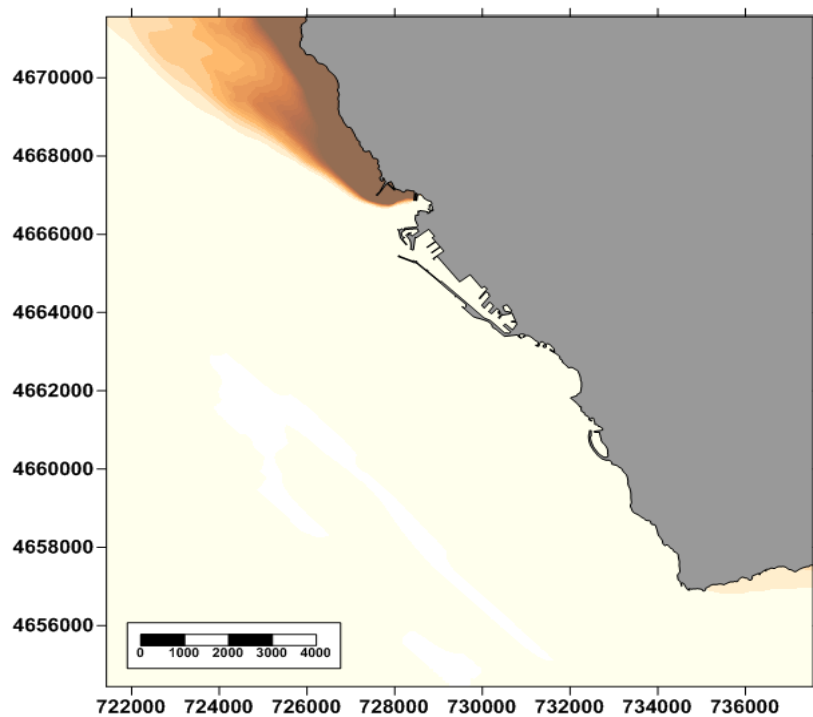
Mezzogiorno - Simulazione con fiumi



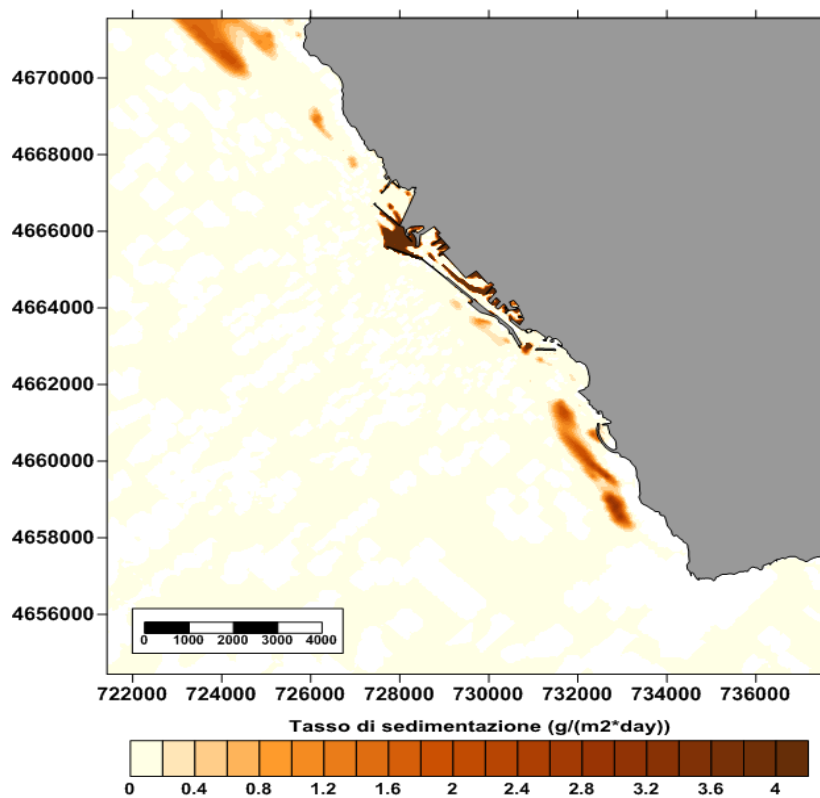
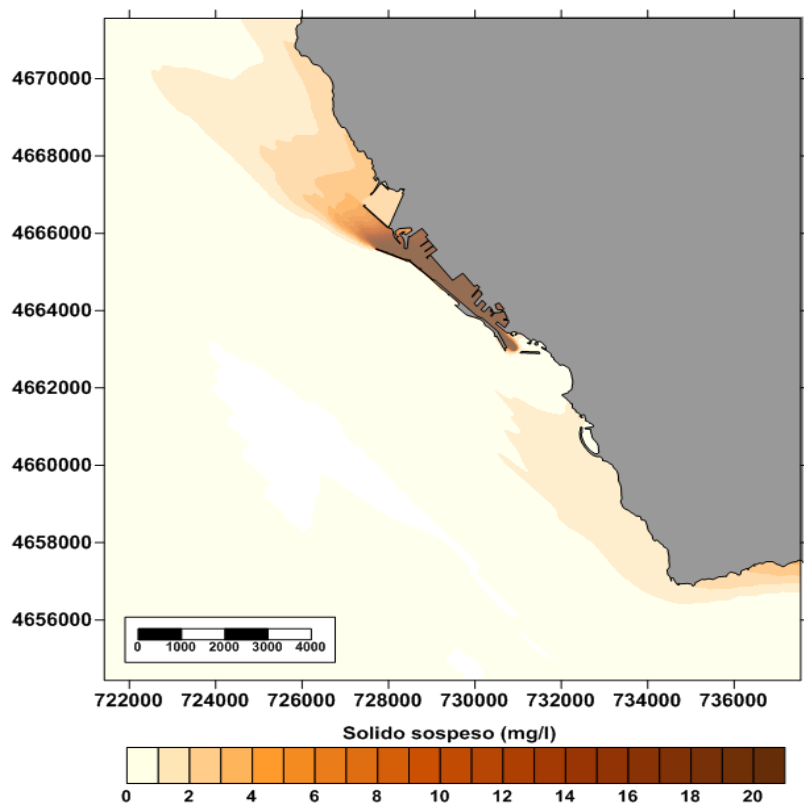
Mezzogiorno - Simulazione dragaggio (1LF)



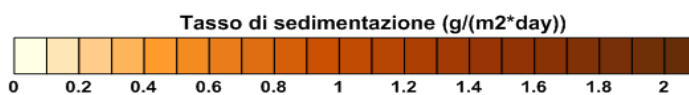
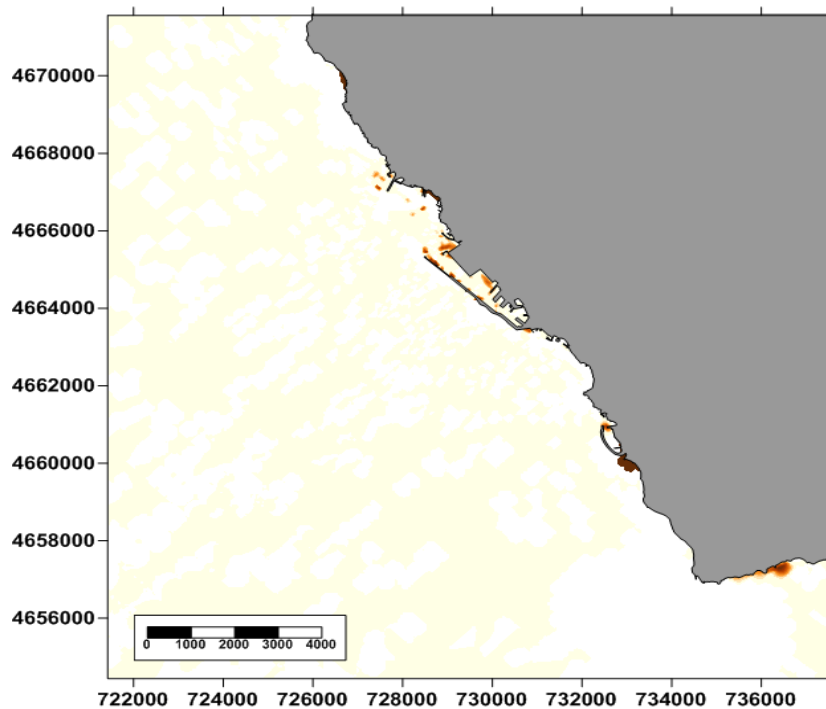
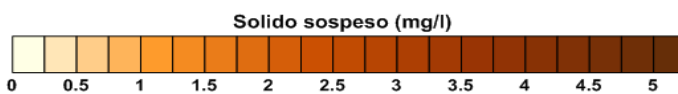
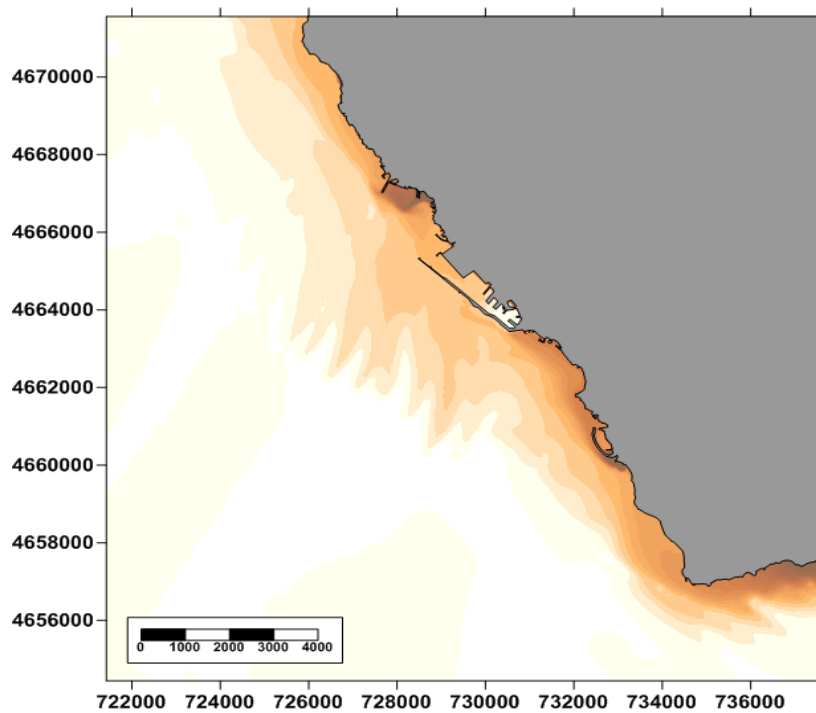
Mezzogiorno - Simulazione dragaggio (DEGM)



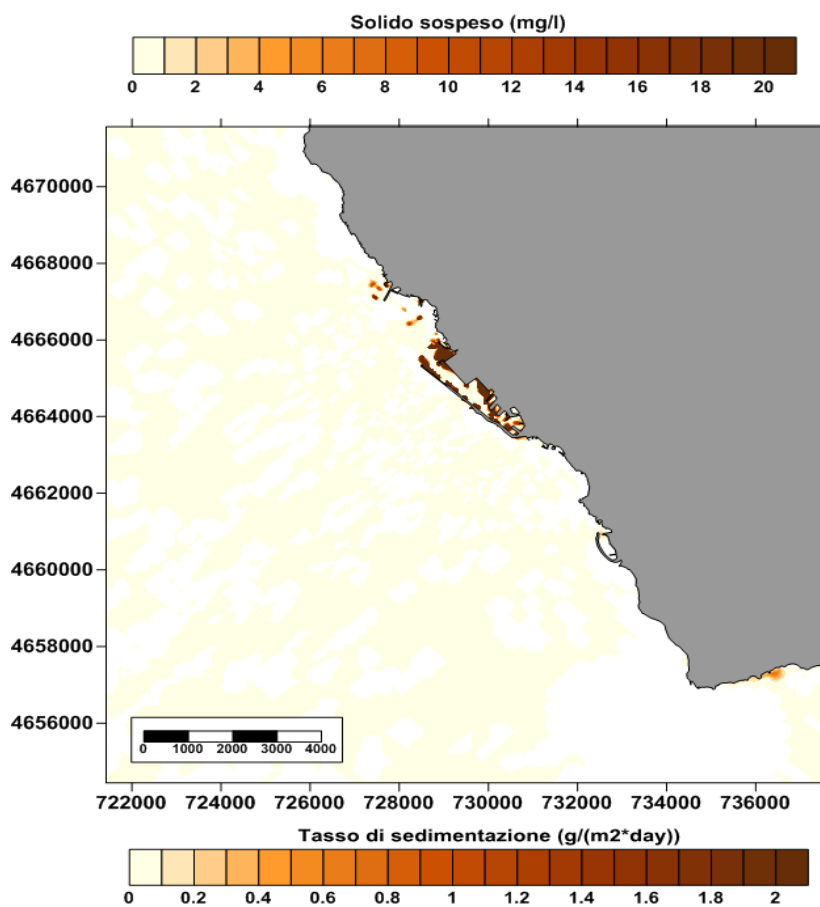
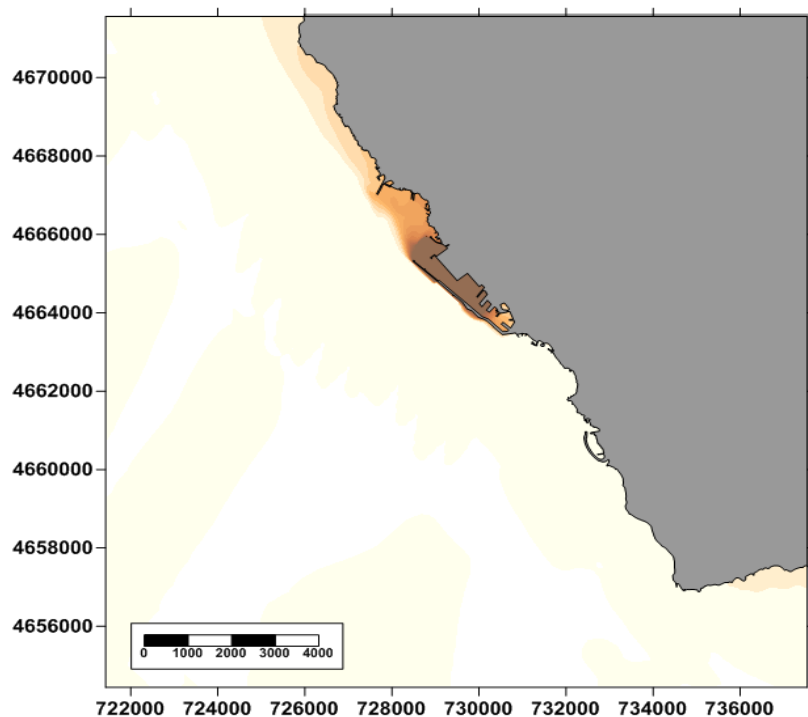
Mezzogiorno - Simulazione dragaggio (Apertura a sud)



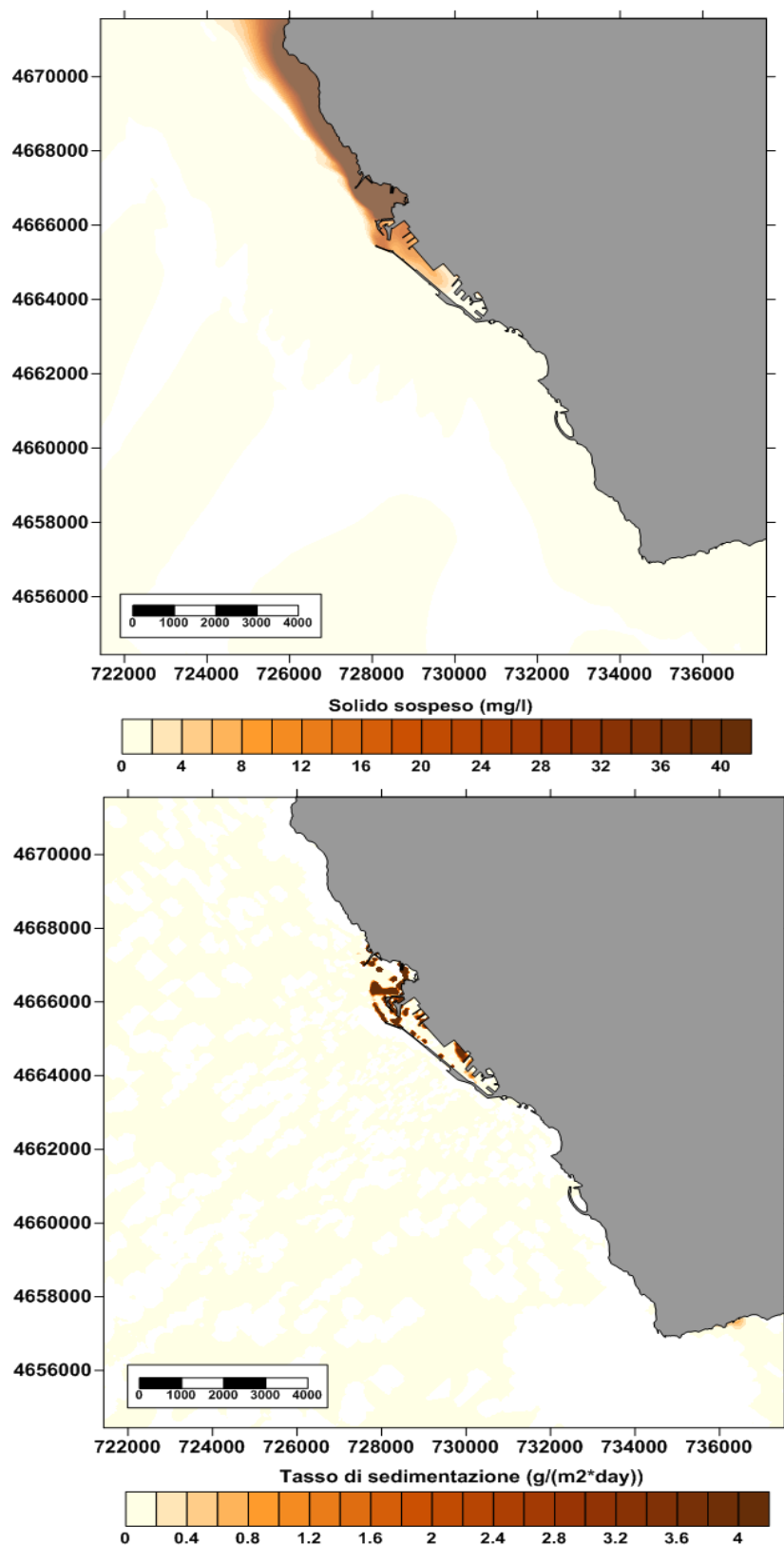
Libeccio-Mezzogiorno - Simulazione con fiumi



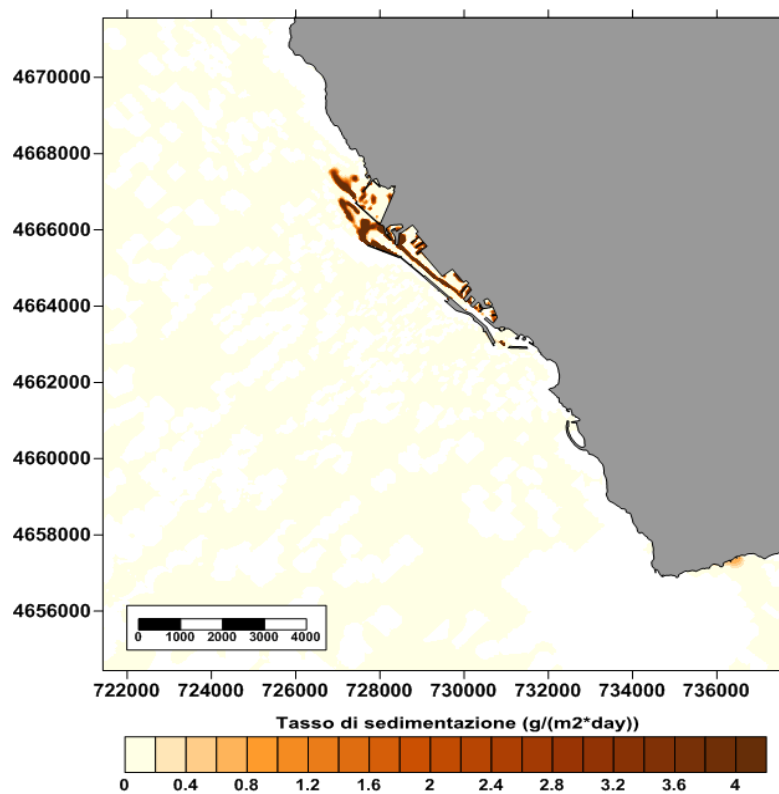
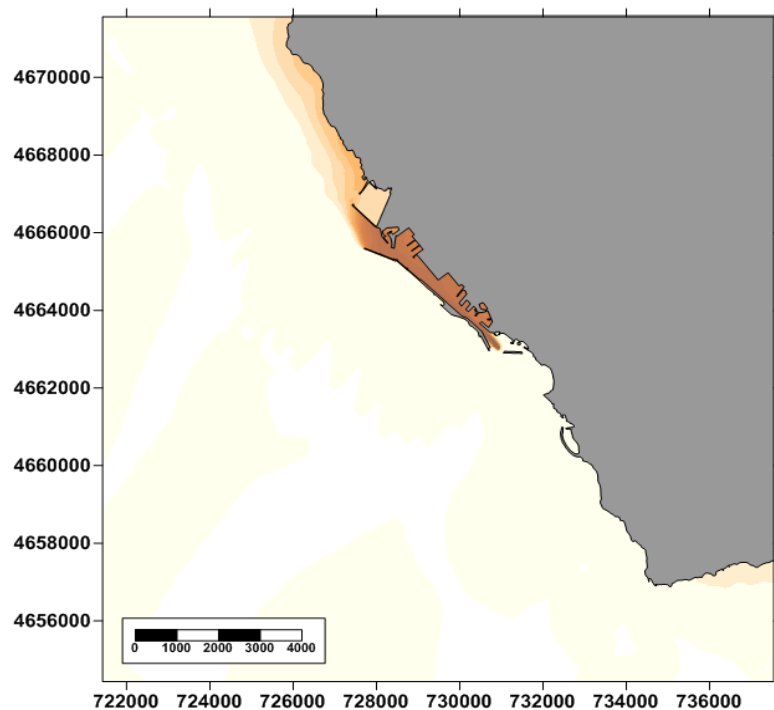
Libeccio-Mezzogiorno - Simulazione dragaggio (1LF)



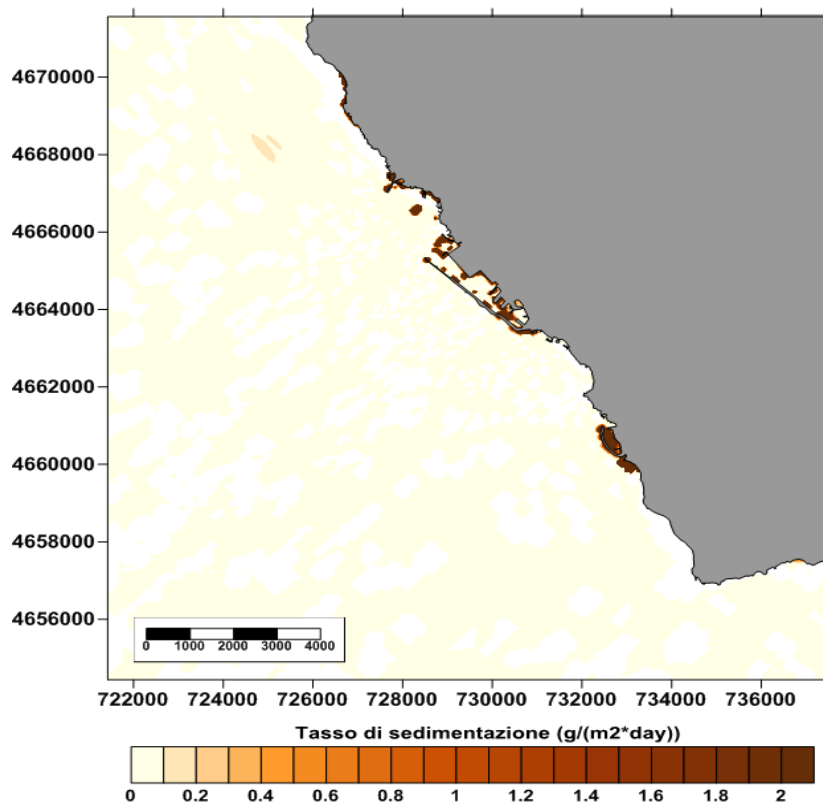
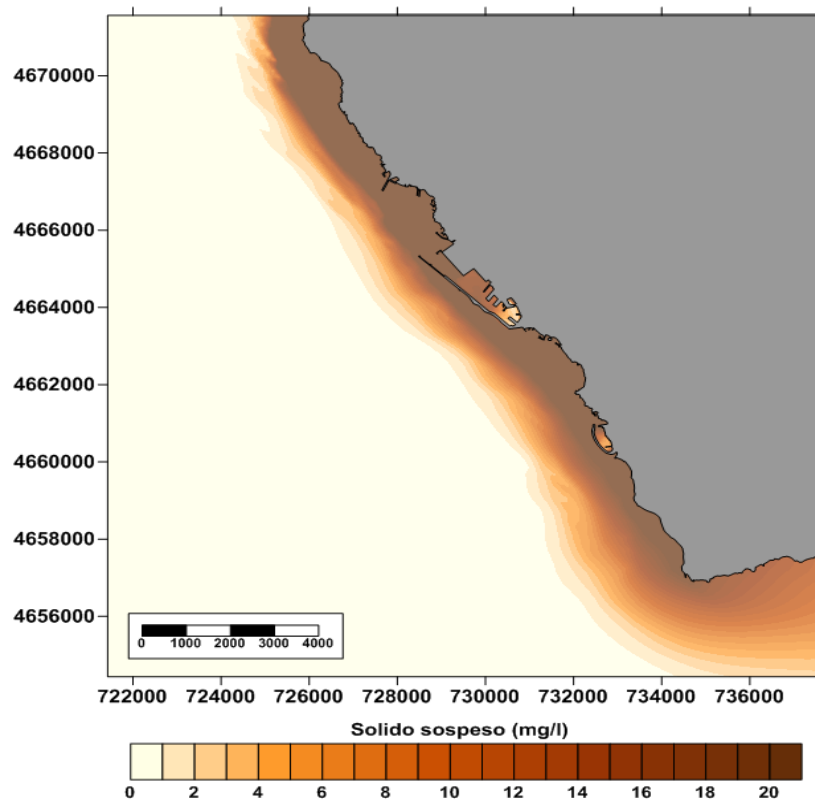
Libeccio-Mezzogiorno - Simulazione dragaggio (DEGM)



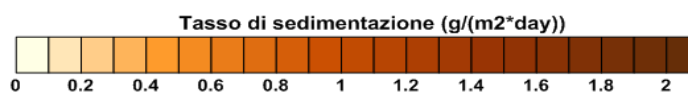
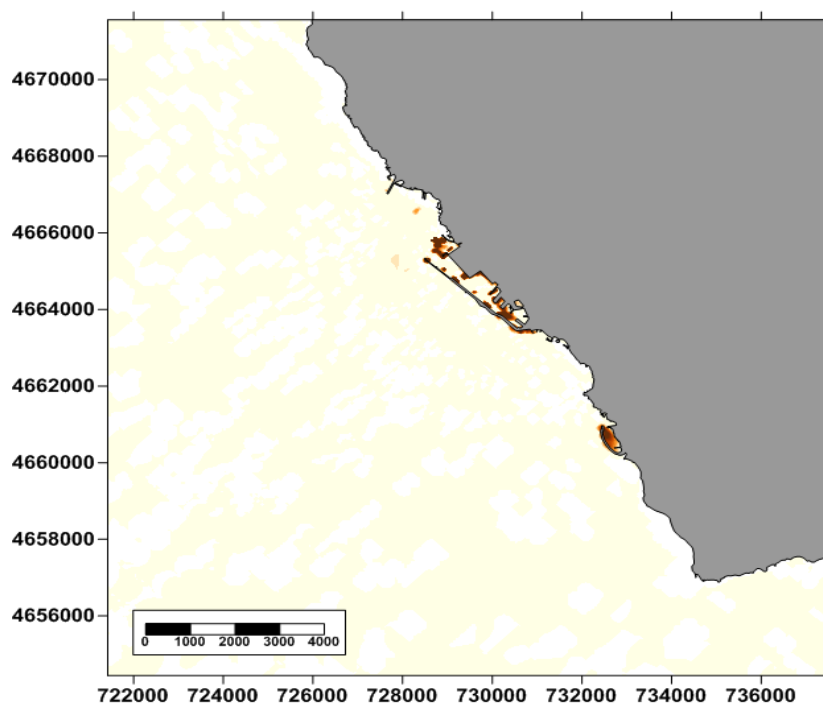
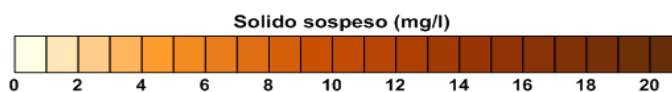
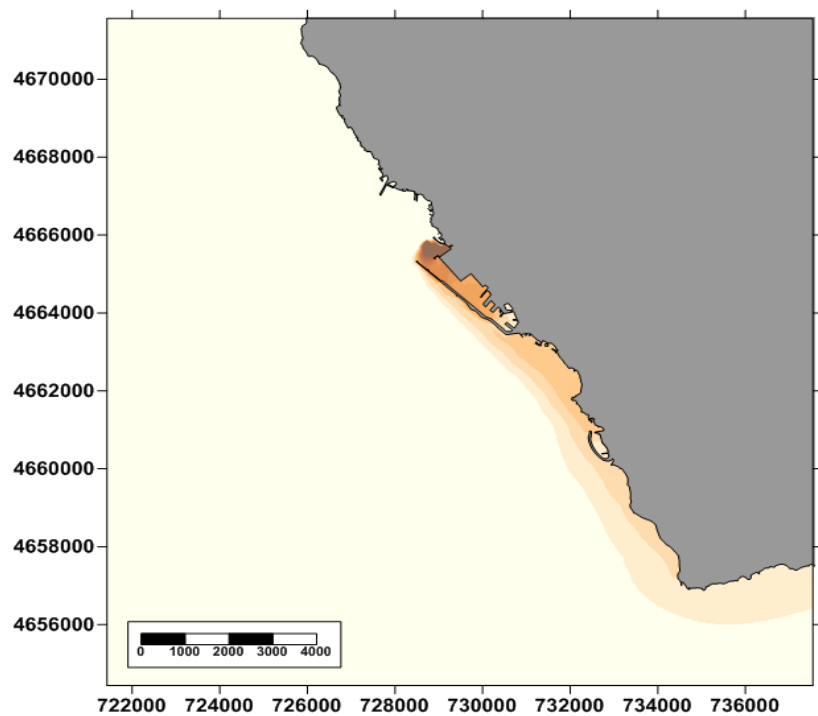
Libeccio-Mezzogiorno - Simulazione dragaggio (Apertura a sud)



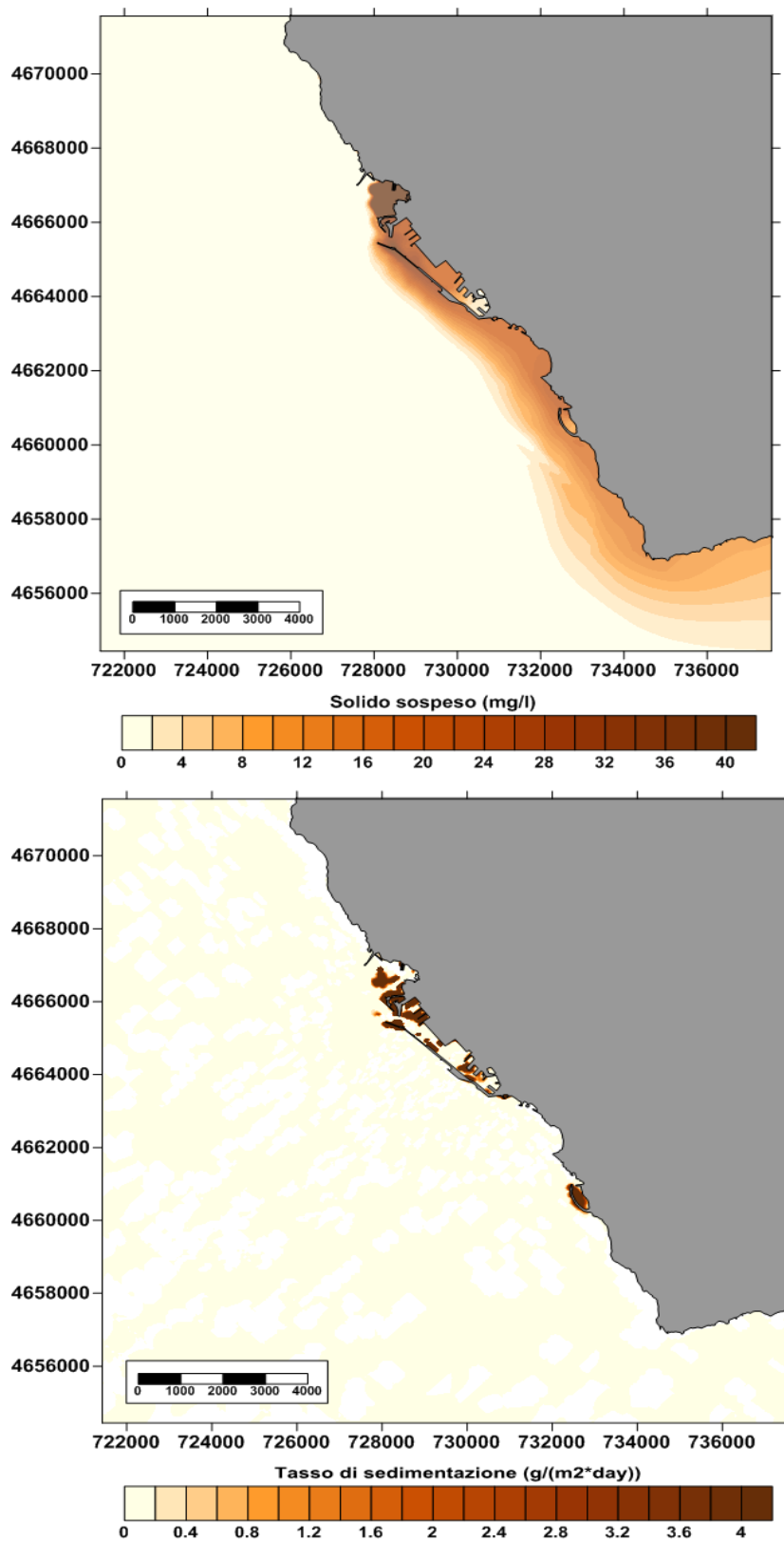
Ponente - Simulazione con fiumi



Ponente - Simulazione dragaggio (1LF)



Ponente - Simulazione dragaggio (DEGM)



Ponente - Simulazione dragaggio (Apertura a sud)

