

RELAZIONE METEOMARINA

STUDIO METEOMARINO MEDIANTE MODELLISTICA 3D A SUPPORTO DELLA COMPATIBILITÀ AMBIENTALE DELL'ATTUALE SCARICO FOGNARIO IN LOC. ANSEDONIA E DI SUPPORTO ALLA FATTIBILITÀ DI NUOVO SCARICO DI EMERGENZA DA REALIZZARSI MEDIANTE CONDOTTA SOTTOMARINA IN LOC. CALA GALERA

CLIENTE (CUSTOMER): **AdF – Acquedotto del Fiora Spa**
Via G. Mameli, 10 – 58100 Grosseto (GR)

DATA (DATE): **06/06/2024**

COMMESSA (JOB ORDER.): **AdF_240124**

FILE: **AdF_240124_Rel01_Rev0A**

CONSEGNATO A (DISTRIBUTED TO): **Ing. Michela Ticcianti**
Dott.sa Diletta De Biase

Consorzio Polo Tecnologico Magona Via Magona – 57023 Cecina (LI) Tel: +39 0586 632142 Fax: +39 0586 635445 Website: www.polomagona.it Email: info@polomagona.it PEC (Certified email): polomagona@pec.it P. IVA (VAT no.): 01228620496 REA Livorno: 110915 Fondo consortile: € 255.750,00		Prof. Ing. Cristiano Nicolella
Hydrogeo Ingegneria Srl Via Aretina 167/B – 50136 Firenze (FI) – Tel. +39 055 6587050 - Website: www.hydrogeoingegneria.com – Email: info@studiohydrogeo.it PEC: nfo@pec.hydrogeoingegneria.com – P.IVA: 05142000487		Ing. Andrea Benvenuti

Rev	Data	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato
0A	06/06/2024	Prima emissione	Benvenuti	Benvenuti	Nicolella

INDICE

1.	PREMESSA.....	7
2.	INQUADRAMENTO DEL SITO DI INTERESSE	8
3.	DESCRIZIONE IMPIANTO DI DEPURAZIONE REFLUI DI TERRAROSSA	9
3.1	IMPIANTO DI DEPURAZIONE ORIGINARIO (1985)	10
3.2	REALIZZAZIONE SEZIONE TRATTAMENTO TERZIARIO AI FINI DEL RIUTILIZZO (1999).....	10
3.3	REALIZZAZIONE AMPLIAMENTO IMPIANTO (2006-2008)	10
3.4	RETE COLLETTAMENTO	11
4.	CAMPAGNA RILIEVI	13
5.	RACCOLTA E ANALISI DEI DATI DEL QUADRO CONOSCITIVO	17
5.1	DATI TOPO-BATIMETRICI.....	17
5.2	DATI ATMOSFERICI	19
5.3	DATI METEOCLIMATICI	20
5.3.1	<i>Dati Portale Copernicus.....</i>	20
6.	SELEZIONE DEGLI SCENARI DI SIMULAZIONE	22
6.1.1	<i>Condizione di circolazione media invernale.....</i>	24
6.1.2	<i>Condizione di circolazione media estiva</i>	26
7.	MODELLO IDRODINAMICO	29
7.1	MODELLAZIONE IDRODINAMICA HD	30
7.2	BATIMETRIA E DOMINIO DI CALCOLO	31
7.3	DISCRETIZZAZIONE VERTICALE	33
7.4	CONDIZIONI INIZIALI E AL CONTORNO.....	34
7.5	RISULTATI DELLA MODELLAZIONE	35
7.5.1	<i>Condizione di circolazione media invernale.....</i>	35
7.5.2	<i>Condizione di circolazione media estiva</i>	40
8.	MODELLO DI TRASPORTO DEGLI INQUINANTI.....	44
8.1	DOMINIO DI CALCOLO	45
8.2	CARATTERISTICHE DEL REFLUO E LIMITI NORMATIVI.....	45
8.3	CONDIZIONI AL CONTORNO E INIZIALI DEL MODELLO	46
8.4	ANALISI DEI RISULTATI	46
8.4.1	<i>Condizione di circolazione media invernale.....</i>	46
8.4.2	<i>Condizione di circolazione media estiva</i>	48

9.	MODELLO IDROECOLOGICO E DI QUALITÀ DELLE ACQUE, TRASPORTO E DEGRADAZIONE BATTERICA	50
9.1	MODELLAZIONE IDROECOLOGICA	51
9.2	DOMINIO DI CALCOLO	52
9.3	CONDIZIONI AL CONTO RNO E INIZIALI DEL MODELLO	52
9.4	ANALISI DEI RISULTATI	53
9.4.1	Condizione di circolazione media invernale - SCARICO ORDINARIO	54
9.4.2	Condizione di circolazione media estiva – SCARICO ORDINARIO	56
9.4.3	Condizione di circolazione media invernale - SCARICO IN EMERGENZA	58
9.4.4	Condizione di circolazione media estiva – SCARICO IN EMERGENZA	60
10.	VERIFICA DI COMPATIBILITÀ SCARICO DI EMERGENZA	62
10.1	MODELLO IDRODINAMICO	62
10.2	MODELLO DI TRASPORTO DEGLI INQUINANTI.....	62
10.2.1	Condizione di circolazione media invernale.....	63
10.2.2	Condizione di circolazione media estiva	64
10.3	MODELLO IDROECOLOGICO E DI QUALITÀ DELLE ACQUE, TRASPORTO E DEGRADAZIONE BATTERICA	66
10.3.1	Condizione di circolazione media invernale - SCARICO ORDINARIO.....	67
10.3.2	Condizione di circolazione media estiva – SCARICO ORDINARIO	69
10.3.3	Condizione di circolazione media invernale - SCARICO IN EMERGENZA	71
10.3.4	Condizione di circolazione media estiva – SCARICO IN EMERGENZA	73
11.	SINTESI DELLO STUDIO E CONCLUSIONI.....	75
	BIBLIOGRAFIA.....	77
	ALLEGATO 1 – RILIEVO BATIMETRICO.....	82

Indice delle figure

Figura 2.1 – Inquadramento generale	8
Figura 2.2 – Inquadramento Golfo della Feniglia (fonte: Google Maps)	8
Figura 3.1 – Inquadramento Territoriale Depuratore Terrarossa	9
Figura 3.2 – Inquadramento generale dell'area del depuratore	9
Figura 3.3 – Stazioni di monitoraggio qualità acque superficiali e punto di scarico	11
Figura 3.4 – Rete fognaria con evidenziato il punto di scarico durante il normale funzionamento dell'impianto e delle stazioni di sollevamento e linee idrauliche	12
Figura 4.1 – Stralcio Carta Batimetrica dei rilievi condotti	13
Figura 4.2 – Esempio schermata software Nettuno 2.0	14
Figura 4.3 – Imbarcazione utilizzata nell'ambito della presenta campagna rilievi	15
Figura 4.4 – Esempio di rilievo per sezioni	15
Figura 5.1 – Estratto delle carte nautiche a disposizione	17
Figura 5.2 – Distribuzione spaziale dei dati all'interno del dominio di calcolo	18
Figura 5.3 – Estensione dei due database: ERA5 a sinistra e CFSR a destra	19
Figura 5.4 – Estratto del portale MetOcean nella zona di interesse	19
Figura 5.5 – Estremi planimetrici del dominio di calcolo	20
Figura 5.6 – Interfaccia grafica con estensione del dominio di calcolo	21
Figura 5.7 – Estratto del Mediterranean Sea Physics Analysis (sinistra) e Reanalysis (destra)	21
Figura 6.1 – Rosa delle correnti superficiali a largo del punto di scarico - anno 2023	22
Figura 6.2 – Rosa delle correnti profonde (-35 m) a largo del punto di scarico - anno 2023	22
Figura 6.3 – Intensità di corrente a largo del punto di scarico - anno 2023	23
Figura 6.4 – Gradienti di temperatura a largo del punto di scarico - anno 2023	23
Figura 6.5 – Rosa delle correnti superficiali a largo del punto di scarico - periodo invernale 2023	24
Figura 6.6 – Rosa delle correnti profonde (-35 m) a largo del punto di scarico - periodo invernale 2023	24
Figura 6.7 – Valori di velocità delle correnti superficiali a largo del punto di scarico - periodo invernale 2023	24
Figura 6.8 – Rosa delle correnti superficiali a largo dello scarico - periodo dal 01 marzo all'11 marzo 2023	25
Figura 6.9 – Rosa delle correnti profonde a largo dello scarico - periodo dal 01 marzo all'11 marzo 2023	25
Figura 6.10 – Valori di velocità delle correnti superficiali a largo del punto di scarico - periodo dal 01 marzo all'11 marzo 2023	25
Figura 6.11 – Rosa delle correnti superficiali a largo del punto di scarico - periodo estivo 2023	26
Figura 6.12 – Rosa delle correnti profonde a largo del punto di scarico - periodo estivo 2023	26
Figura 6.13 – Valori di velocità delle correnti superficiali a largo del punto di scarico - periodo estivo 2023	27
Figura 6.14 – Gradienti di temperatura sulla colonna d'acqua a largo del punto di scarico - periodo estivo 2023	27
Figura 6.15 – Rosa delle correnti superficiali a largo dello scarico - periodo dal 22 luglio al 1 agosto 2023	27
Figura 6.16 – Rosa delle correnti profonde a largo dello scarico - periodo dal 22 luglio al 1 agosto 2023	28
Figura 6.17 – Valori di velocità delle correnti superficiali a largo del punto di scarico - periodo dal 22 luglio al 1 agosto 2023	28
Figura 6.18 – Gradienti di temperatura sulla colonna d'acqua a largo del punto di scarico - periodo dal 22 luglio al 1 agosto 2023	28
Figura 7.1 – Tipologie di approcci di schematizzazione geometrica	29
Figura 7.2 – Esempio di Flexible Mesh	31
Figura 7.3 – Distribuzione della risoluzione della mesh di calcolo del modello	32
Figura 7.4 – Aree con livelli di dettaglio	32
Figura 7.5 – Batimetria ottenuta dal processamento dei dati batimetrici a disposizione	33
Figura 7.6 – Principio di funzionamento della mesh tridimensionale	33
Figura 7.7 – Esempi di sigma layer	34
Figura 7.8 – Esempio di combinazione di sigma layer (sopra la linea rossa) e z layer (sotto la linea rossa)	34
Figura 7.9 – Distribuzione delle condizioni al contorno nel dominio di calcolo	35
Figura 7.10 – Distribuzione delle correnti per la condizione d'onda invernale nell'istante di massima intensità (02 marzo 2023, ore 22.00) - layer di superficie	36
Figura 7.11 – Distribuzione delle correnti per la condizione d'onda invernale nell'istante di massima intensità (02 marzo 2023, ore 22.00) - layer medio	36
Figura 7.12 – Distribuzione delle correnti per la condizione d'onda invernale nell'istante di massima intensità (02 marzo 2023, ore 22.00) - layer di fondo	36
Figura 7.13 – Profilo verticale della distribuzione delle correnti in corrispondenza della condotta e del punto di scarico per la condizione d'onda invernale nell'istante di massima intensità (02 marzo 2023, ore 22.00)	37
Figura 7.14 – Distribuzione delle temperature per la condizione d'onda invernale nell'istante di massima intensità (02 marzo 2023, ore 22.00) - layer di superficie	37
Figura 7.15 – Distribuzione delle temperature per la condizione d'onda invernale nell'istante di massima intensità (02 marzo 2023, ore 22.00) - layer medio	37

Figura 7.16 – Distribuzione delle temperature per la condizione d'onda invernale nell'istante di massima intensità (02 marzo 2023, ore 22.00) - layer di fondo	38
Figura 7.17 – Profilo verticale della distribuzione delle temperature in corrispondenza della condotta e del punto di scarico per la condizione d'onda invernale nell'istante di massima intensità (02 marzo 2023, ore 22.00)	38
Figura 7.18 – Distribuzione della salinità per la condizione d'onda invernale nell'istante di massima intensità (02 marzo 2023, ore 22.00) - layer di superficie	38
Figura 7.19 – Distribuzione della salinità per la condizione d'onda invernale nell'istante di massima intensità (02 marzo 2023, ore 22.00) - layer medio	39
Figura 7.20 – Distribuzione della salinità per la condizione d'onda invernale nell'istante di massima intensità (02 marzo 2023, ore 22.00) - layer di fondo	39
Figura 7.21 – Profilo verticale della distribuzione della salinità in corrispondenza della condotta e del punto di scarico per la condizione d'onda invernale nell'istante di massima intensità (02 marzo 2023, ore 22.00)	39
Figura 7.22 – Distribuzione delle correnti per la condizione d'onda invernale nell'istante di massima intensità (25 luglio 2023, ore 10.00) - layer di superficie	40
Figura 7.23 – Distribuzione delle correnti per la condizione d'onda estiva nell'istante di massima intensità (25 luglio 2023, ore 10.00) - layer medio	40
Figura 7.24 – Distribuzione delle correnti per la condizione d'onda estiva nell'istante di massima intensità (25 luglio 2023, ore 10.00) - layer di fondo	40
Figura 7.25 – Profilo verticale della distribuzione delle correnti in corrispondenza della condotta e del punto di scarico per la condizione d'onda estiva nell'istante di massima intensità (25 luglio 2023, ore 10.00)	41
Figura 7.26 – Distribuzione delle temperature per la condizione d'onda estiva nell'istante di massima intensità (25 luglio 2023, ore 10.00) - layer di superficie	41
Figura 7.27 – Distribuzione delle temperature per la condizione d'onda estiva nell'istante di massima intensità (25 luglio 2023, ore 10.00) - Layer medio	41
Figura 7.28 – Distribuzione delle temperature per la condizione d'onda estiva nell'istante di massima intensità (25 luglio 2023, ore 10.00) - Layer di fondo	42
Figura 7.29 – Profilo verticale della distribuzione delle temperature in corrispondenza della condotta e del punto di scarico per la condizione d'onda estiva nell'istante di massima intensità (25 luglio 2023, ore 10.00)	42
Figura 7.30 – Distribuzione della salinità per la condizione d'onda estiva nell'istante di massima intensità (25 luglio 2023, ore 10.00) - layer di superficie	42
Figura 7.31 – Distribuzione della salinità per la condizione d'onda estiva nell'istante di massima intensità (25 luglio 2023, ore 10.00) - layer medio	43
Figura 7.32 – Distribuzione della salinità per la condizione d'onda estiva nell'istante di massima intensità (25 luglio 2023, ore 10.00) - layer di fondo	43
Figura 7.33 – Profilo verticale della distribuzione della salinità in corrispondenza della condotta e del punto di scarico per la condizione d'onda estiva nell'istante di massima intensità (25 luglio 2023, ore 10.00)	43
Figura 8.1 – Schema di modellazione avvezione-dispersione	44
Figura 8.2 – Distribuzione del plume per la condizione di circolazione invernale - layer di superficie	46
Figura 8.3 – Distribuzione del plume per la condizione di circolazione invernale - layer medio	47
Figura 8.4 – Distribuzione del plume per la condizione di circolazione invernale - layer di fondo	47
Figura 8.5 – Distribuzione verticale del plume in corrispondenza della condotta e del punto di scarico per la condizione di circolazione invernale	47
Figura 8.6 – Distribuzione del plume per la condizione di circolazione estiva - layer di superficie	48
Figura 8.7 – Distribuzione del plume per la condizione di circolazione estiva - layer medio	48
Figura 8.8 – Distribuzione del plume per la condizione di circolazione estiva - layer di fondo	48
Figura 8.9 – Distribuzione verticale del plume in corrispondenza della condotta e del punto di scarico per la condizione di circolazione estiva	49
Figura 9.1 – Quadro sinottico dei processi simulati da EcoLab	51
Figura 9.2 – Distribuzione del plume per la condizione di circolazione invernale – SCARICO ORDINARIO – layer di superficie	54
Figura 9.3 – Distribuzione del plume per la condizione di circolazione invernale – SCARICO ORDINARIO – layer medio	54
Figura 9.4 – Distribuzione del plume per la condizione di circolazione invernale – SCARICO ORDINARIO – layer di fondo	54
Figura 9.5 – Distribuzione verticale del plume in corrispondenza della condotta e del punto di scarico per la condizione di circolazione invernale – SCARICO ORDINARIO	55
Figura 9.6 – Distribuzione verticale del plume lungo la direttrice di massima dispersione (da Est a Ovest) per la condizione di circolazione invernale – scarico ordinario	55
Figura 9.7 – Distribuzione del plume per la condizione di circolazione estiva – SCARICO ORDINARIO – layer di superficie	56
Figura 9.8 – Distribuzione del plume per la condizione di circolazione estiva – SCARICO ORDINARIO – layer medio	56
Figura 9.9 – Distribuzione del plume per la condizione di circolazione estiva – SCARICO ORDINARIO – layer di fondo	56

Figura 9.10 – Distribuzione verticale del plume in corrispondenza della condotta e del punto di scarico per la condizione di circolazione estiva – scarico ordinario	57
Figura 9.11 – Distribuzione verticale del plume lungo la direttrice di massima dispersione (da Nord-Est a Sud-Ovest) per la condizione di circolazione estiva – SCARICO ORDINARIO	57
Figura 9.12 – Distribuzione del plume per la condizione di circolazione invernale – SCARICO IN EMERGENZA – layer di superficie	58
Figura 9.13 – Distribuzione del plume per la condizione di circolazione invernale – SCARICO IN EMERGENZA – layer medio	58
Figura 9.14 – Distribuzione del plume per la condizione di circolazione invernale – SCARICO IN EMERGENZA – layer di fondo	58
Figura 9.15 – Distribuzione verticale del plume in corrispondenza della condotta e del punto di scarico per la condizione di circolazione invernale – SCARICO IN EMERGENZA	59
Figura 9.16 – Distribuzione verticale del plume lungo la direttrice di massima dispersione (da Est a Ovest) per la condizione di circolazione invernale – SCARICO IN EMERGENZA	59
Figura 9.17 – Distribuzione del plume per la condizione di circolazione estiva – SCARICO IN EMERGENZA – layer di superficie	60
Figura 9.18 – Distribuzione del plume per la condizione di circolazione estiva – SCARICO IN EMERGENZA – layer medio	60
Figura 9.19 – Distribuzione del plume per la condizione di circolazione estiva – SCARICO IN EMERGENZA – layer di fondo	60
Figura 9.20 – Distribuzione verticale del plume in corrispondenza della condotta e del punto di scarico per la condizione di circolazione estiva – SCARICO IN EMERGENZA	61
Figura 9.21 – Distribuzione verticale del plume lungo la direttrice di massima dispersione (da Nord-Est a Sud-Ovest) per la condizione di circolazione estiva – SCARICO IN EMERGENZA	61
Figura 10.1 – Condotta Emergenziale nello scenario di progetto	62
Figura 10.2 – Scarico di emergenza - Distribuzione del plume per la condizione di circolazione invernale - layer di superficie	63
Figura 10.3 – Scarico di emergenza - Distribuzione del plume per la condizione di circolazione invernale - layer medio	63
Figura 10.4 – Scarico di emergenza - Distribuzione del plume per la condizione di circolazione invernale - layer di fondo	63
Figura 10.5 – Scarico di emergenza - Distribuzione verticale del plume in corrispondenza della condotta e del punto di scarico per la condizione di circolazione invernale	64
Figura 10.6 – Scarico di emergenza - Distribuzione del plume per la condizione di circolazione estiva - layer di superficie	64
Figura 10.7 – Scarico di emergenza - Distribuzione del plume per la condizione di circolazione estiva - layer medio	64
Figura 10.8 – Scarico di emergenza - Distribuzione del plume per la condizione di circolazione estiva - layer di fondo	65
Figura 10.9 – Scarico di emergenza - Distribuzione verticale del plume in corrispondenza della condotta e del punto di scarico per la condizione di circolazione estiva	65
Figura 10.10 – Scarico di emergenza - Distribuzione del plume per la condizione di circolazione invernale – SCARICO ORDINARIO – layer di superficie	67
Figura 10.11 – Scarico di emergenza - Distribuzione del plume per la condizione di circolazione invernale – SCARICO ORDINARIO – layer medio	67
Figura 10.12 – Scarico di emergenza - Distribuzione del plume per la condizione di circolazione invernale – SCARICO ORDINARIO – layer di fondo	67
Figura 10.13 – Scarico di emergenza - Distribuzione verticale del plume in corrispondenza della condotta e del punto di scarico per la condizione di circolazione invernale – scarico ordinario	68
Figura 10.14 – Scarico di emergenza - Distribuzione verticale del plume lungo la direttrice di massima dispersione (da Nord-Est a Sud-Ovest) per la condizione di circolazione invernale – SCARICO ORDINARIO	68
Figura 10.15 – Scarico di emergenza - Distribuzione del plume per la condizione di circolazione estiva – SCARICO ORDINARIO – layer di superficie	69
Figura 10.16 – Scarico di emergenza - Distribuzione del plume per la condizione di circolazione estiva – SCARICO ORDINARIO – layer medio	69
Figura 10.17 – Scarico di emergenza - Distribuzione del plume per la condizione di circolazione estiva – SCARICO ORDINARIO – layer di fondo	69
Figura 10.18 – Scarico di emergenza - Distribuzione verticale del plume in corrispondenza della condotta e del punto di scarico per la condizione di circolazione estiva – SCARICO ORDINARIO	70
Figura 10.19 – Scarico di emergenza - Distribuzione verticale del plume lungo la direttrice di massima dispersione (da Nord-Est a Sud-Ovest) per la condizione di circolazione estiva – SCARICO ORDINARIO	70
Figura 10.20 – Scarico di emergenza - Distribuzione del plume per la condizione di circolazione invernale – SCARICO IN EMERGENZA – layer di superficie	71
Figura 10.21 – Scarico di emergenza - Distribuzione del plume per la condizione di circolazione invernale – SCARICO IN EMERGENZA – layer medio	71
Figura 10.22 – Scarico di emergenza - Distribuzione del plume per la condizione di circolazione invernale – SCARICO IN EMERGENZA – layer di fondo	71
Figura 10.23 – Scarico di emergenza - Distribuzione verticale del plume in corrispondenza della condotta e del punto di scarico per la condizione di circolazione invernale – SCARICO IN EMERGENZA	72

Figura 10.24 – Scarico di emergenza - Distribuzione verticale del plume lungo la direttrice di massima dispersione (da Est-Nord-Est a Ovest-Sud-Ovest) per la condizione di circolazione invernale – SCARICO IN EMERGENZA	72
Figura 10.25 – Distribuzione del plume per la condizione di circolazione estiva – SCARICO IN EMERGENZA – layer di superficie	73
Figura 10.26 – Scarico di emergenza - Distribuzione del plume per la condizione di circolazione estiva – SCARICO IN EMERGENZA – layer medio.....	73
Figura 10.27 – Scarico di emergenza - Distribuzione del plume per la condizione di circolazione estiva – SCARICO IN EMERGENZA – layer di fondo.....	73
Figura 10.28 – Scarico di emergenza - Distribuzione verticale del plume in corrispondenza della condotta e del punto di scarico per la condizione di circolazione estiva – SCARICO IN EMERGENZA	74
Figura 10.29 – Scarico di emergenza - Distribuzione verticale del plume lungo la direttrice di massima dispersione (da Nord-Est a Sud-Ovest) per la condizione di circolazione estiva – SCARICO IN EMERGENZA.....	74

Indice delle tabelle

Tabella 4.1 – Datum orizzontale di acquisizione	13
Tabella 7.1 – Principali input del codice di calcolo di Mike 3D HD	31
Tabella 7.2 – Livelli di dettaglio e dimensioni delle mesh assegnate	33
Tabella 8.1 - valori limite e le concentrazioni di soglia previsti da normative di settore.....	45

1. PREMESSA

Consorzio Polo Tecnologico Magona e Hydrogeo Ingegneria srl sono stati incaricati da AdF – Acquedotto del Fiora Spa di redigere il presente “STUDIO METEOMARINO MEDIANTE MODELLISTICA 3D A SUPPORTO DELLA COMPATIBILITÀ AMBIENTALE DELL'ATTUALE SCARICO FOGNARIO IN LOC. ANSEDONIA E DI SUPPORTO ALLA FATTIBILITÀ DI NUOVO SCARICO DI EMERGENZA DA REALIZZARSI MEDIANTE CONDOTTA SOTTOMARINA IN LOC. CALA GALERA”.

L'impianto di Terrarossa, situato nella località di cui prende il nome nel Comune di Monte Argentario, è dotato di un sistema di collettamento e scarico mediante sollevamento meccanico che, tramite una condotta sottomarina di lunghezza circa pari a 3.6 [km], recapita a mare i reflui depurati a largo del promontorio di Ansedonia, nel Comune di Orbetello (GR), in prossimità dell'isolotto denominato *Isola Giulia*.

L'analisi di cui alla presente relazione si pone lo scopo di valutare gli effetti attesi nell'ambito marino di interesse in termini di propagazione del plume dovuto allo scarico di tali reflui in funzione dei moti avvettivi e dispersivi ed in funzione del trasporto e del decadimento batterico dei reflui scaricati.

Inoltre, il presente elaborato si prefigge l'intento di analizzare la compatibilità di una condotta di emergenza di lunghezza circa pari a 3.4 [km] e scarico alla profondità di circa 30 [m]. Tale analisi è condotta in termini di propagazione del pennacchio di inquinati dovuto allo scarico di tali reflui in funzione dei moti avvettivi e dispersivi ed in funzione del trasporto e del decadimento batterico dei reflui scaricati.

Il presente elaborato si compone di:

- raccolta e analisi dei dati meteorologici, atmosferici e topo batimetrici disponibili per l'area di interesse;
- individuazione delle condizioni meteomarine e di circolazione prese a riferimento quali forzanti del modello;
- studio della circolazione (modello di downscaling) mediante l'applicazione del modello tridimensionale *MIKE 3 HD – Hydrodynamics* di DHI;
- studio ed analisi della dei moti avvettivi e dispersivi attesi in condizioni ordinarie ed emergenziali nella configurazione di scarico attuale tramite l'applicazione del modello tridimensionale *MIKE 3 AD – Advection/Dispersion* di DHI;
- studio del trasporto e del decadimento batterico atteso in condizioni ordinarie ed emergenziali nella configurazione di scarico attuale tramite l'applicazione del modello tridimensionale *MIKE 3 EcoLab* –DHI;
- analisi dei moti avvettivi e dispersivi attesi e del trasporto e del decadimento batterico atteso nella configurazione di scarico di progetto in condizioni ordinarie ed emergenziali;
- analisi dei risultati e conclusioni;
- bibliografia dei dati utilizzati.

Non sono stati valutati nella presente analisi gli effetti a mare degli scolmatori presenti né degli scarichi lagunari del canale di Ansedonia e del Canale della Tagliata.

2. INQUADRAMENTO DEL SITO DI INTERESSE

L'area di indagine ai fini della presente analisi si estende per circa 30.5 [km] di costa, dal Monte Argentario fino a circa Marina di Pescia Romana, in prossimità del confine tra Toscana e Lazio. La porzione di territorio oggetto di interesse ricomprende, altresì, l'intero Golfo della Feniglia, con particolare riferimento tratto di mare ricompreso tra il Monte Argentario e l'abitato di Ansedonia, adiacente al tombolo della laguna di Orbetello denominato "della Feniglia", nel Comune di Orbetello (GR). In questo tratto di mare, in prossimità dell'Isola Giulia alla profondità di circa 35 [m], è situato lo scarico dei reflui trattati dell'impianto di depurazione di Terrarossa oggetto di indagine.

L'area di indagine è così individuata in ragione delle necessità dello studio meteomarino, dettagliate nel capitolo §Figura 2.1.

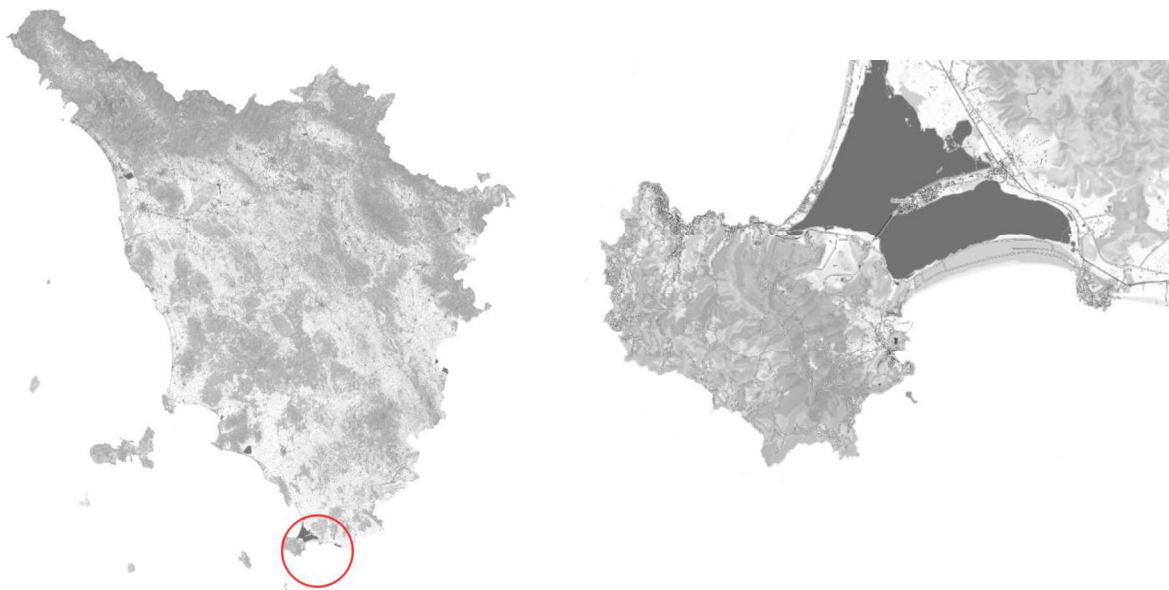


Figura 2.1 – Inquadramento generale

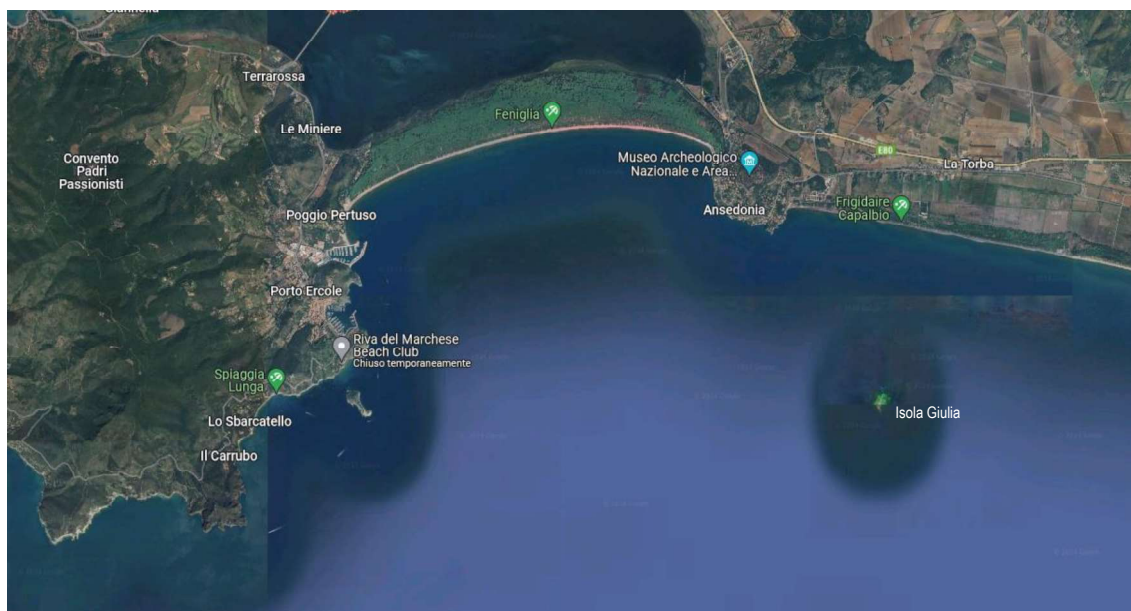


Figura 2.2 – Inquadramento Golfo della Feniglia (fonte: Google Maps)

3. DESCRIZIONE IMPIANTO DI DEPURAZIONE REFLUI DI TERRAROSSA

L'area dell'impianto di depurazione reflui di Terrarossa è situata nel Comune di Monte Argentario (GR), nei pressi della Laguna di Orbetello, come si evince dalla seguente Figura 3.1. Questo è inquadrato sulla Carta Tecnica Regionale alla Sezione 342150. Questa è posta a Sud dell'abitato di Terrarossa e si sviluppa lungo Via Acquedotto Leopoldino.

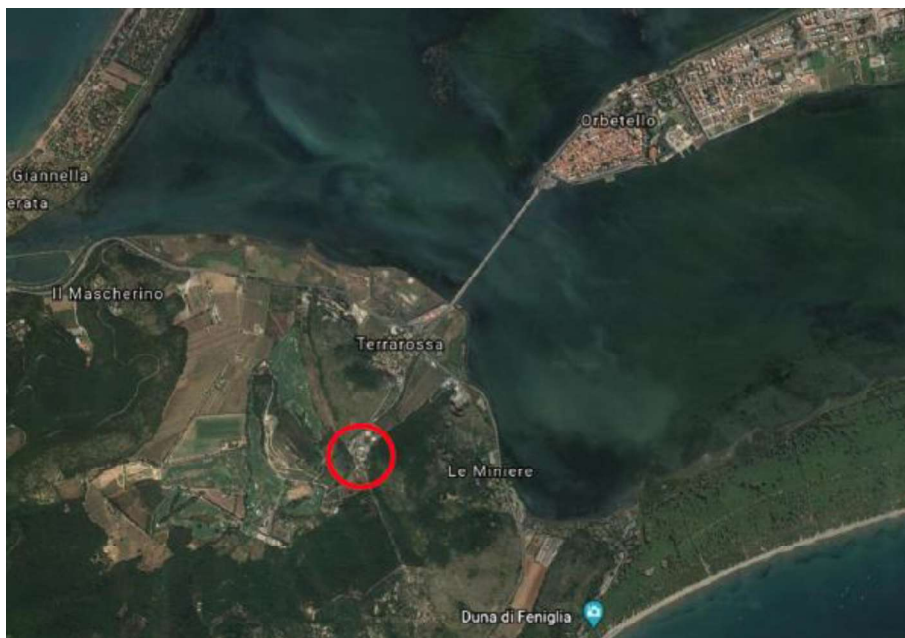


Figura 3.1 – Inquadramento Territoriale Depuratore Terrarossa

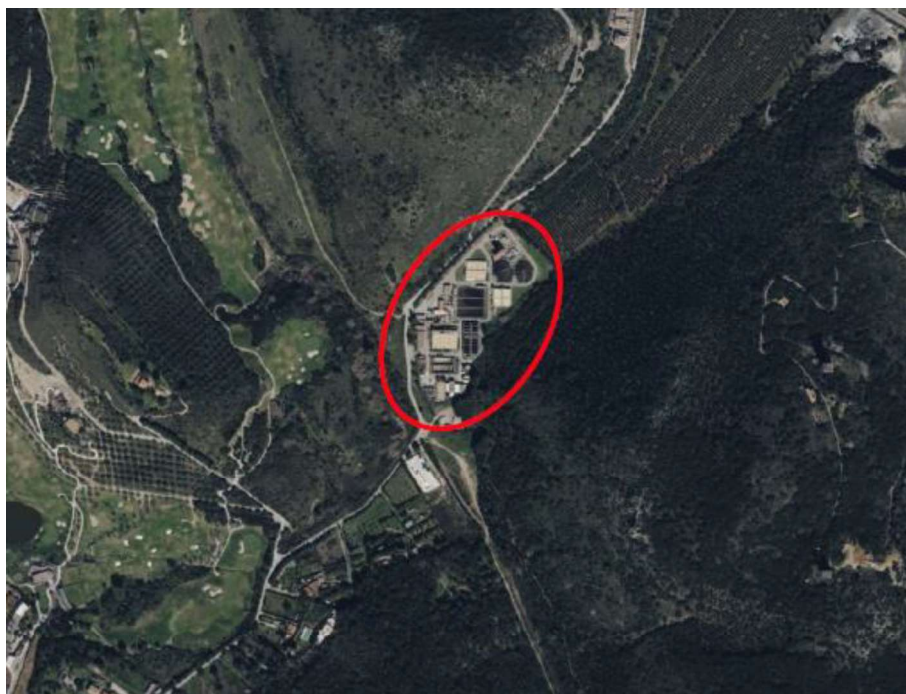


Figura 3.2 – Inquadramento generale dell'area del depuratore

3.1 IMPIANTO DI DEPURAZIONE ORIGINARIO (1985)

L'esigenza di realizzare il depuratore di Terrarossa nasce da lontano, dal 1985 in poi, quando il Comune di Monte Argentario (GR) ancora non era dotato di alcun impianto di trattamento delle acque reflue prodotte dai centri abitati maggiori, ovvero Porto Santo Stefano e Porto Ercole.

L'impianto di depurazione di Terrarossa, nella sua configurazione iniziale, fu il risultato di una serie di interventi, commissionati in parte dalla Amministrazione Comunale di Monte Argentario ed in parte dal Commissario delegato al risanamento ambientale della laguna di Orbetello. Le attività iniziarono con il bando di gara del Comune di Monte Argentario per la costruzione del depuratore di Terrarossa del 1989. Nel settembre 1991 vennero affidate alla SNAMPROGETTI le opere di raccolta, collettamento e depurazione dell'intero territorio comunale (l'lotto impianto di depurazione di Terrarossa).

Negli anni 1992-1993 iniziò l'emergenza ambientale della laguna di Orbetello, con la manifestazione di frequenti crisi anossiche, caratterizzate da evidenti fenomeni di eutrofizzazione delle acque della laguna. Il Commissario Delegato provvide all'affidamento dei lavori del II lotto dell'impianto di depurazione di Terrarossa a SNAMPROGETTI s.p.a. di Fano nel 1995.

L'impianto di depurazione di Terrarossa originariamente fu dimensionato e realizzato da Snamprogetti per servire la popolazione di Monte Argentario (Porto Santo Stefano e Porto Ercole) per un carico equivalente massimo pari a 40.000 abitanti, con un valore del rapporto tra popolazione servita in estate/inverno pari a 1,3.

3.2 REALIZZAZIONE SEZIONE TRATTAMENTO TERZIARIO AI FINI DEL RIUTILIZZO (1999)

A causa dell'infiltrazione di acqua di mare in vari punti delle condotte fognarie di adduzione dei liquami all'impianto e del conseguente aumento dell'apporto di rifiuti grossolani e della concentrazione di sali, sabbia, solfati e solfuri, fu constatata nel tempo una diminuzione generalizzata della capacità depurativa dei processi biologici ed una difficoltà gestionale nel mantenimento in efficienza dell'impianto con il raggiungimento dei limiti di scarico per cui era stato progettato.

L'Acquedotto del Fiora apportò alcune modifiche ai vari stadi del ciclo di trattamento come:

- abbandono della tecnologia UASB che di fatto non riusciva ad innescarsi a pieno come processo;
- riconversione dei reattori UASB a vasche di equalizzazione di portata o accumulo fanghi;
- rimozione della sezione di denitrificazione del trattamento biologico con biorulli.

La sezione di trattamento terziario fu progettata nell'anno 1997, come ulteriore sezione da porre a valle dell'esistente impianto di depurazione, con lo scopo di rendere riutilizzabili le acque trattate in uscita dall'impianto di Terrarossa, per uso di fertirrigazione e riuso industriale oppure da inviare alla fitodepurazione per scarico in laguna: tale trattamento di fitodepurazione inizialmente previsto non è mai stato realizzato.

L'inquadramento normativo al tempo della progettazione della sezione di trattamento terziario prevedeva per effluenti recapitanti in corpi idrici, l'applicazione dei valori limite riportati nella Tabella A della legge 319/76, e, per le acque destinate al riutilizzo anche per scopi irrigui, l'osservanza della normativa nazionale. Il dimensionamento della sezione fu effettuato per l'intera portata media giornaliera ma frazionata su tre linee in parallelo, per far fronte alle diverse esigenze stagionali o di utilizzi. I relativi lavori vennero affidati alla ATI, costituita dalla società EUROECO spa (capogruppo) e dalla società SIDER-ALMAGIA spa, iniziarono nel 1997 e vennero collaudati nel 2000. La sezione di trattamento terziario però non divenne di fatto mai operativa, anche per la modesta efficienza depurativa del depuratore all'epoca esistente.

3.3 REALIZZAZIONE AMPLIAMENTO IMPIANTO (2006-2008)

Nel 2003 il Commissario Delegato al Risanamento Ambientale della Laguna di Orbetello, individuato nel Sindaco di Orbetello, diede l'incarico di predisporre il progetto preliminare per il potenziamento e l'adeguamento dell'impianto di depurazione di Terrarossa e per il completamento e l'adeguamento della rete di collettamento degli scarichi e dell'areale dei Comuni di Orbetello e di Monte Argentario, tenendo conto del contesto esistente costituito dalle infrastrutture già realizzate ed in parte in esercizio, ponendosi come obiettivo generale l'uso di quanto presente ed il potenziamento delle infrastrutture fino a 60.000 [a.e.].

Gli interventi progettati come ampliamento e potenziamento dell'impianto esistente prevedevano la realizzazione di una nuova linea di trattamento biologico ed adeguamento della esistente, attraverso l'implementazione di:

- trattamenti preliminari di microgrigliatura, dissabbiatura e disoleatura;
- equalizzazione dell'intera portata e dei carichi inquinanti mediante l'utilizzo delle tre vasche;
- trattamento biologico di rimozione dei nutrienti (azoto e fosforo) a fanghi attivi, con schema
- anaerobico – anossico - aerobico;
- sedimentazione dell'intera portata uscente dal biologico con ricircolo fanghi;
- filtrazione su tela per la riduzione dei solidi sospesi;
- adsorbimento su carboni attivi per l'ulteriore rimozione di inquinanti;

- trattamento di disinfezione a raggi UV.

Nel 2006 venne sottoscritta dal Commissario e dall'ATI costituita dalla Impresa di Costruzione Giuseppe Maltauro S.p.A. (capogruppo) ed Ecoveneta S.p.A la "Concessione per il potenziamento e l'adeguamento dell'impianto di Terrarossa e per il completamento e l'adeguamento della rete di collettamento degli scarichi dell'areale dei comuni di Monte Argentario ed Orbetello e della gestione dell'intero sistema integrato".

3.4 RETE COLLETTAMENTO

Per quanto qui di interesse, in condizioni di normale funzionamento, la rete di collettamento delle acque fognarie dei Comuni di Monte Argentario e di Orbetello vengono indirizzate all'impianto di depurazione denominato "Terrarossa" e da qui l'acqua depurata, non inviata a riutilizzo in impianto o nelle rete di acqua di servizio interna all'impianto di depurazione, viene inviata mediante la rete di trasporto delle acque depurate della Rete SUD fino a raggiungere lo scarico di immersione nel corpo recettore finale che è localizzato a mare, nel Comune di Orbetello in località Ansedonia a circa 3.6 [km] a largo delle costa.

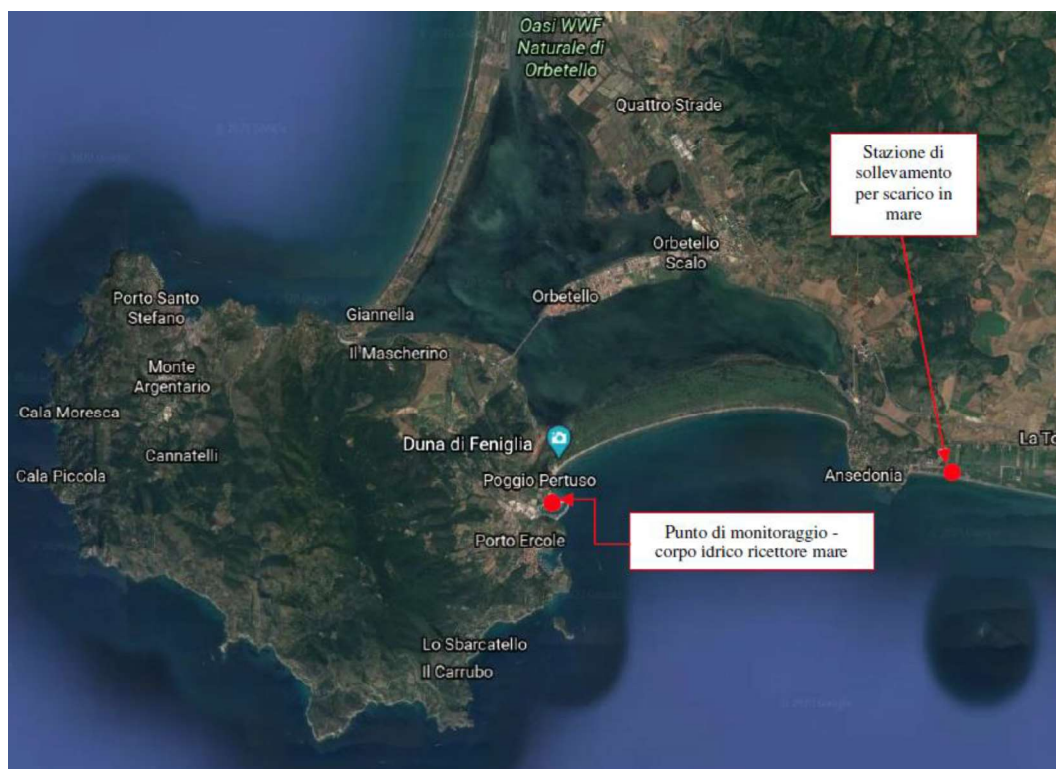


Figura 3.3 – Stazioni di monitoraggio qualità acque superficiali e punto di scarico

Nella seguente figura viene evidenziato lo schema di flusso della condizione normale di funzionamento dell'impianto con evidenziazione dell'impianto di depurazione di Terrarossa e dell'intera rete di collegamento fognario nei due Comuni, e infine la rete di trasporto delle acque depurate fino al punto di scarico nel corpo recettore finale che è localizzato a circa 3.6 [km] a largo del promontorio di Ansedonia nel Comune di Orbetello (GR).

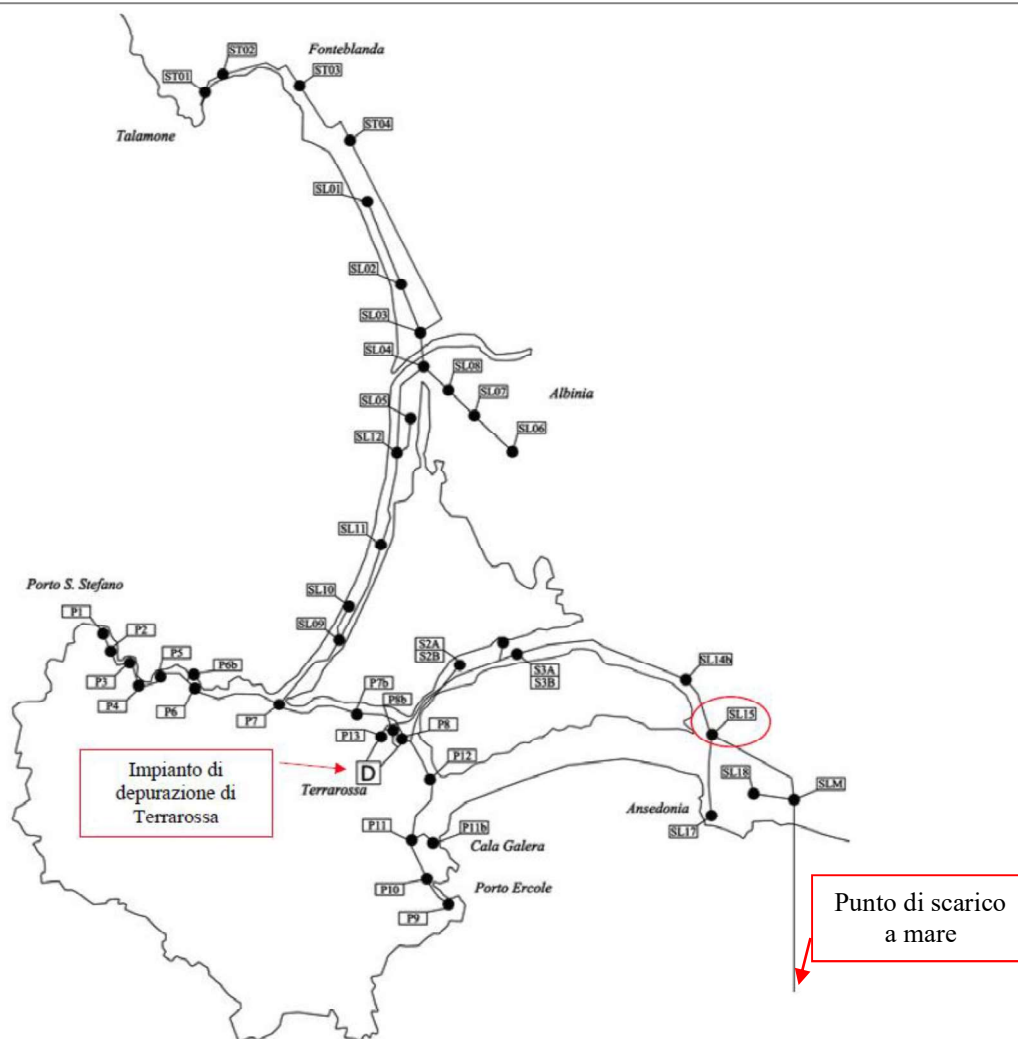


Figura 3.4 – Rete fognaria con evidenziato il punto di scarico durante il normale funzionamento dell'impianto e delle stazioni di sollevamento e linee idrauliche

4. CAMPAGNA RILIEVI

A supporto delle indagini meteomarine è stata condotta una campagna di rilievi batimetrici di dettaglio. I rilievi, condotti da Geocoste snc di Pisa, sono stati eseguiti tramite tecnologia singlebeam tra la batimetrica -0.5 e quella dei 30/35 [m] circa nel Febbraio del 2024.

Il rilievo è stato condotto per transetti paralleli e perpendicolari alla linea di riva con interdistanza crescente all'aumentare dei fondali. Inoltre, nell'estremità orientale della spiaggia della Feniglia, è stato raffittito in modo da aumentare il dettaglio nei pressi dell'uscita del canale della laguna di Orbetello. La linea di riva è stata ricavata da immagini satellitari recenti.

Nella seguente Figura 4.1 è riportato uno stralcio della Carta Batimetrica derivante dai rilievi condotti consultabili in scala 1:2000 nell'allegato 1 in coda alla presente relazione.

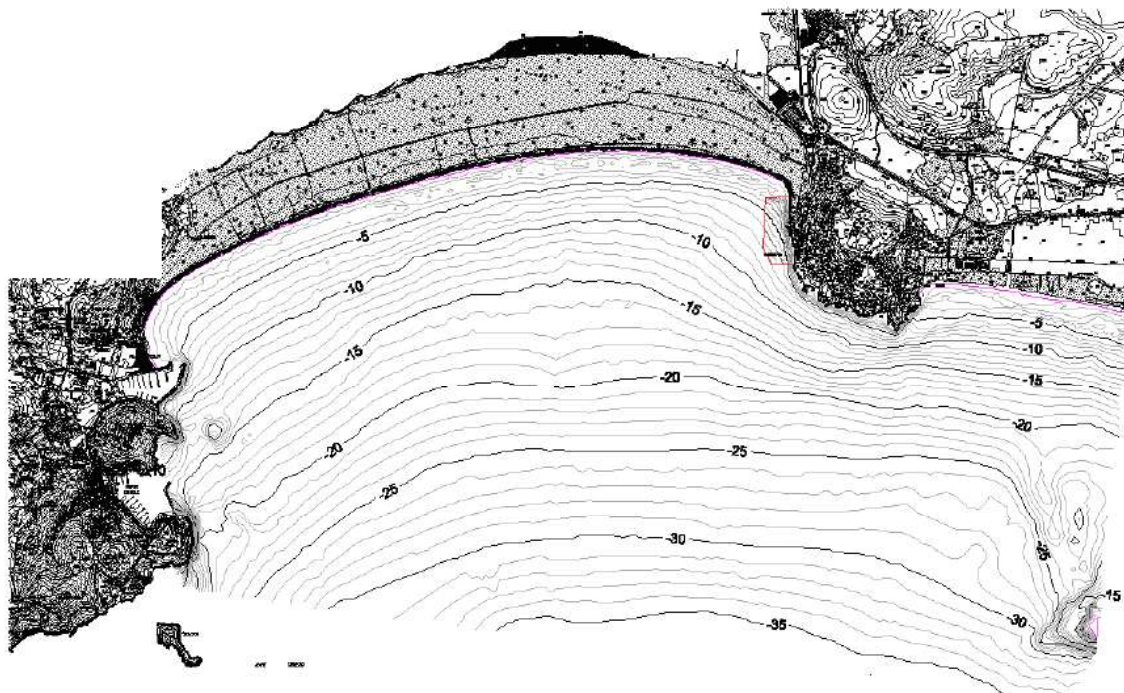


Figura 4.1 – Stralcio Carta Batimetrica dei rilievi condotti

Di seguito si riporta una breve descrizione delle operazioni di rilievo condotte.

PARAMETRI GEODETICI E DATUM VERTICALE

Il rilievo è stato eseguito utilizzando, nella fase di acquisizione, i seguenti parametri geodetici:

Datum:	ETRF2000
Proiezione:	U.T.M. – Fuso 32
Meridiano Centrale:	9°00'00"
Falsa Origine:	500 000 metri
Coefficiente di riduzione:	0.9996

Tabella 4.1 – Datum orizzontale di acquisizione

Poiché tutti i dati ottenuti dal sistema di posizionamento GPS sono riferiti al sistema geodetico di riferimento WGS84, durante le operazioni di elaborazione e restituzione dei dati è stato necessario eseguire una trasformazione tra datum al fine di permettere la georeferenziazione dei dati acquisiti nel sistema geodetico-cartografico nazionale. Il posizionamento dell'imbarcazione durante le fasi di rilievo è stato eseguito per mezzo di un ricevitore GPS doppia frequenza Leica 1250 collegato via GSM con la stazione permanente più vicina della rete Italpos (www.italpos.it). In questa configurazione lo strumento fornisce la posizione con precisione centimetrica. Il datum verticale utilizzato è il Genova 1942 identificato come 0 IGM.

RILIEVO SINGLE BEAM

I fondali sono stati rilevati con tecnologia singlebeam seguendo delle tracce parallele a costa.

- **Strumentazione utilizzata:** L'ecoscandaglio utilizzato è di tipo *idrografico* con una risoluzione digitale di 1 cm. La frequenza adottata è di 200 KHz; un buon compromesso per garantire un rilievo accurato del fondale con poca interferenza della colonna d'acqua. Il cono di emissione dello strumento è di 9° per una elevata risoluzione. Per garantire la congruenza tra misure di profondità e planimetriche l'ecoscandaglio è stato posizionato in asse al ricevitore per la posizione planimetrica. È stata utilizzata un GPS differenziale a doppia frequenza (L1-L2) con registrazione di codice e di fase e modalità NRTK modello Stonex 900 con collegato alla stazione permanente Italpos.

Questa strumentazione garantisce una precisione, se opportunamente utilizzata, estremamente elevata (10mm + 2ppm rms in tempo reale e 3mm + 0.5ppm rms in modalità statica).

È stato utilizzato un software di produzione Geocoste (Nettuno 2) che gestisce l'acquisizione contemporanea dei dati provenienti dall'ecoscandaglio e dal sistema di posizionamento, il GPS in questo caso secondo le frequenze di arrivo prestabilite. Il software è compatibile con il formato prioritario della Leica per l'acquisizione in tempo reale delle coordinate planimetriche e della quota provenienti dal GPS e già trasformate nel sistema di riferimento adottato (nell'ambito del presente lavoro è stato adottato il sistema di riferimento UTM32).

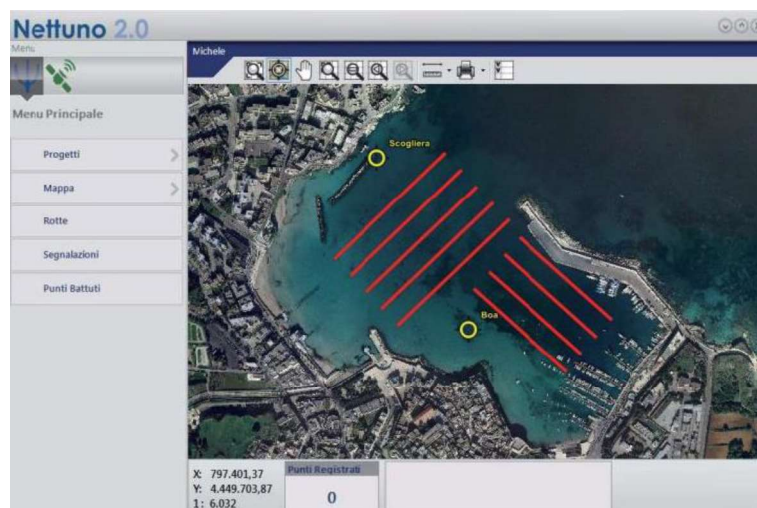


Figura 4.2 – Esempio schermata software Nettuno 2.0

Con questo software la navigazione può avvenire in modo libero oppure vincolato a percorsi predefiniti (sezioni) come adottato nell'ambito della presente campagna rilievi.

L'acquisizione dei punti automaticamente assoggettata ai filtri scelti: acquisizione a tempo, a distanza, con controllo dell'operatore e, nel caso di sezioni, entro una fascia definita nell'intorno della sezione stessa.

Queste modalità lasciano all'operatore la concentrazione necessaria a pilotare l'imbarcazione sui percorsi scelti, mentre il programma agisce autonomamente. È, ad esempio, possibile visionare lo scostamento in metri rispetto alla rotta prefissata, la distanza progressiva, l'angolo di rotta e la velocità dell'imbarcazione.

Il rilievo è stato eseguito con un gommone da lavoro opportunamente attrezzato per i rilievi idrografici e con mare completamente calmo ed in assenza di vento. Le sezioni di scandagliamento sono state effettuate con l'imbarcazione che si muoveva a velocità costante e bassa lungo le rotte prefissate.

Ad inizio e fine rilievo si è proceduto alla taratura dell'ecoscandaglio. La regolazione della velocità strumentale in base alla velocità degli ultrasuoni in acqua è stata effettuata tramite il metodo del "Bar Check" (misurazione della profondità di immersione di una barra o disco metallico calato al di sotto del trasduttore e sospeso ad un cavo graduato in decimetri).



Figura 4.3 – Imbarcazione utilizzata nell'ambito della presenta campagna rilievi

Le misurazioni sono state effettuate a varie profondità (-1, -3). Un ulteriore controllo è derivato dalla misura diretta del fondale con palina graduata. Si è quindi corretto digitalmente sul software di navigazione l'eventuale errore.

Per il rilievo batimetrico è stato utilizzato un sistema di acquisizione dei dati automatico-digitale, con posizionamento del natante in tempo reale tramite tecnologia GPS con correzione delle coordinate via radio modem e GSM. Tale sistema permette di realizzare il rilievo delle linee senza dover materializzare alcun allineamento oppure porsi sulla testa della sezione e di avere una correzione istantanea della quote.

Il GPS di bordo trasmette in tempo reale, frequenza di acquisizione di 0.2 secondi, le coordinate (Est, Nord e quota IGM) al software di navigazione.

L'operatore sul natante dirige l'imbarcazione seguendo le indicazioni sul video del calcolatore, ove è indicata la retta che rappresenta la linea teorica da rilevare e la posizione attuale del natante.

Una volta portata l'imbarcazione in allineamento con la sezione da rilevare, l'operatore segue con maggior precisione possibile la linea di progetto visualizzata, iniziando l'acquisizione dei dati. Sono inoltre visibili il fuori-rotta, la velocità in nodi, l'angolo di governo, la distanza dall'inizio e dal fine rotta, il numero di evento e altri valori utili per il rilievo.

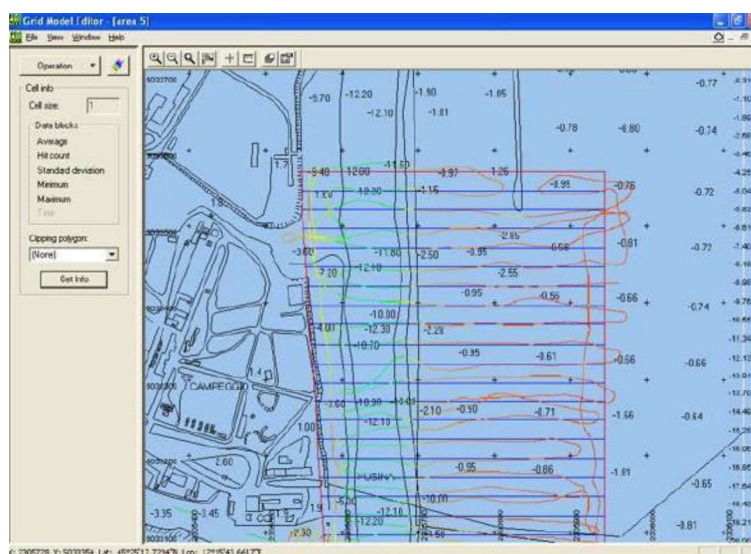


Figura 4.4 – Esempio di rilievo per sezioni

Questa tecnologia offre notevoli vantaggi; calcolando infatti il GPS, oltre che le coordinate planimetriche, anche la quota assoluta del trasduttore in tempo reale e con precisione centimetrica, diventa possibile, in abbinamento con i dati provenienti dall'ecoscandaglio, correggere automaticamente tutte le oscillazioni della superficie marina (marea, onde, sovrizzo dovuto alla massa d'acqua spinta dal vento) durante il rilievo batimetrico. Per questo anche l'immersione dell'ecoscandaglio dal pelo dell'acqua, -0.30 m durante l'intero rilievo, è stata precedentemente impostata e automaticamente corretta.

Con questa metodologia, come visto, non occorre operare le correzioni di marea e di pressione atmosferica per la riduzione a livello mare a posteriori, in più tutte le oscillazioni verticali vengono automaticamente prese in considerazione.

Avendo eseguito il rilievo direttamente in formato digitale tutti i dati sono stati registrati sul disco magnetico come una strisciata digitale in codice "ascii" secondo il formato caratteristico del programma. Il file contiene per ogni punto, le coordinate planimetriche *WGS84-UTM32* e la profondità del fondo riferita allo zero assoluto.

ELABORAZIONE DATI SINGLE BEAM

I dati acquisiti dopo essere stati puliti da tutti gli spikes sono stati interpolati per creare grid a maglia 5mX5m per la parte più sottocosta e 10x10m in quella a largo da cui sono state ricavate le isobate. Per l'elaborazione e la pulizia dei dati si è utilizzato i software Nettuno, Surfer e Autocad.

Si rimanda all'Allegato 1 per visionare le risultanze della campagna rilievi descritta.

5. RACCOLTA E ANALISI DEI DATI DEL QUADRO CONOSCITIVO

Nel presente capitolo vengono descritti ed analizzati i dati che costituiscono il quadro conoscitivo della presente analisi. In particolare, al fine di implementare lo studio sono stati utilizzati i seguenti dati:

- dati topo-batimetrici
- dati climatici atmosferici
- dati del clima meteomarino

che saranno oggetto di descrizione nei seguenti paragrafi.

5.1 DATI TOPO-BATIMETRICI

A supporto della modellazioni è stato elaborato un modello digitale del fondale marino. Per quanto concerne il Golfo della Feniglia, questo è stato caratterizzato sulla base delle risultanze delle campagne rilievi condotte nel Febbraio 2024 e descritte al capitolo §4.

Nelle aree esterne alla porzione di mare di interesse e, in ragione di ciò, non caratterizzate nell'ambito della campagna rilievi, si è fatto riferimento ai dati ricavati dalla cartografia nautica digitale C-MAP. I dati forniti da questo database possono essere direttamente importati nell'ambiente di lavoro dei codici di calcolo MIKE, consentendo quindi un'adeguata caratterizzazione batimetrica dell'area.

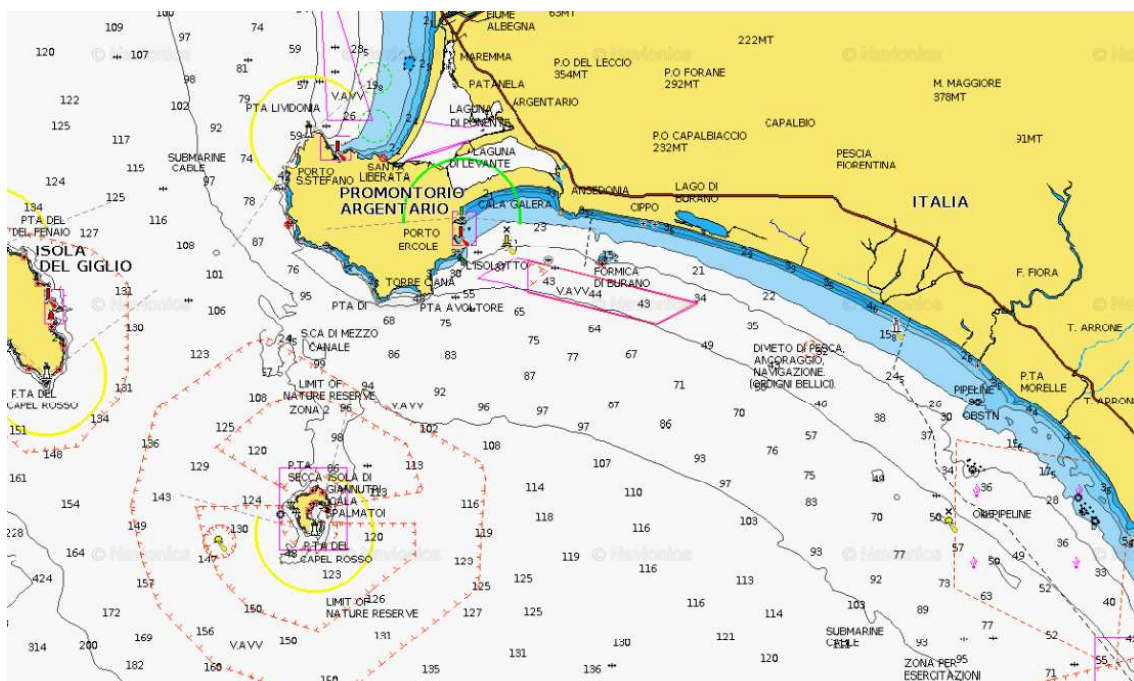


Figura 5.1 – Estratto delle carte nautiche a disposizione

Nella seguente Figura 5.2 si riporta la distribuzione spaziale dei dati batimetrici disponibili ed utilizzati a supporto della caratterizzazione batimetrica del dominio di calcolo.

STUDIO METEOMARINO MEDIANTE MODELLISTICA 3D A SUPPORTO DELLA COMPATIBILITÀ AMBIENTALE
DELL'ATTUALE SCARICO FOGNARIO IN LOC. ANSEDONIA E DI SUPPORTO ALLA FATTIBILITÀ DI NUOVO SCARICO DI EMERGENZA
DA REALIZZARSI MEDIANTE CONDOTTA SOTTOMARINA IN LOC. CALA GALERA

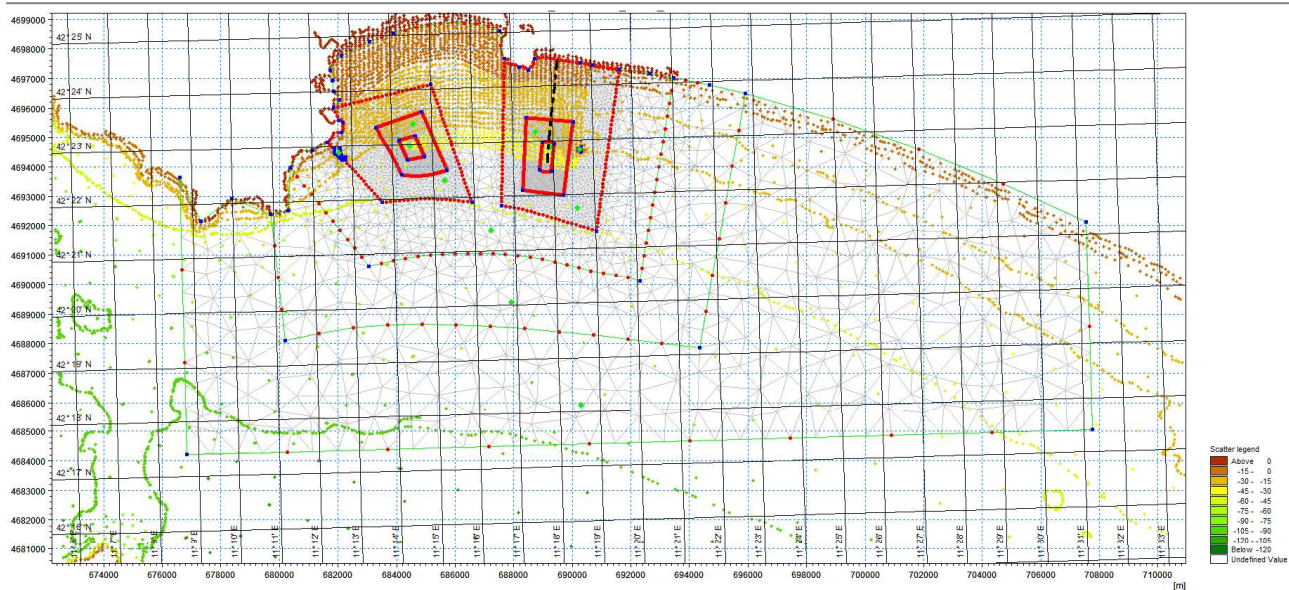


Figura 5.2 – Distribuzione spaziale dei dati all'interno del dominio di calcolo

5.2 DATI ATMOSFERICI

Al fine di determinare le forzanti di natura atmosferica necessarie per la modellistica del clima meteo marino si è fatto riferimento al *MetOcean Data Portal*, ovvero un portale messo a disposizione da DHI Worldwide che consente l'accesso a circa 40 anni di dati meteoceanografici su scala globale, quali vento, onde, livelli e correnti.

I dati disponibili provengono da modelli regionali e/o locali ad alta risoluzione, oppure da datasets a copertura globale, e sono sempre validati prima di essere caricati sul portale in modo da assicurare la qualità dei dati forniti.

Tra i database presenti all'interno del portale, si è fatto riferimento ai seguenti due:

- **ERA5**: che rappresenta la quinta generazione ECMWF di rianalisi di dati climatici e meteorologici per le scorse 8 decadi, con dati che partono dal 1940, fornendo stime orarie per un gran numero di quantità atmosferiche, delle onde oceaniche e della superficie terrestre. I dati sono stati riorganizzati su una griglia regolare latitudine-longitudine di 0,25 gradi per la rianalisi e 0,5 gradi per la stima dell'incertezza (0,5 e 1 grado rispettivamente per le onde oceaniche).
- **CFSR (Climate Forecast System Reanalysis)**: un prodotto di rianalisi di terza generazione. Si tratta di un sistema globale, ad alta risoluzione, accoppiato atmosfera-oceano-superficie terrestre-ghiaccio marino progettato per fornire la migliore stima dello stato di questi domini accoppiati nel periodo di riferimento.

La risoluzione dell'atmosfera globale della CFSR è di ~38 km (T382) con 64 livelli. L'oceano globale è di 0,25° all'equatore, estendendosi fino a 0,5° globali oltre i tropici, con 40 livelli. Il modello globale della superficie terrestre ha 4 livelli di suolo e il modello globale del ghiaccio marino ha 3 livelli.

Dai due database, tramite il portale MetOcean, sono state ricavate le informazioni relative a **velocità e direzione del vento**, oltre che della **irradiazione solare**.

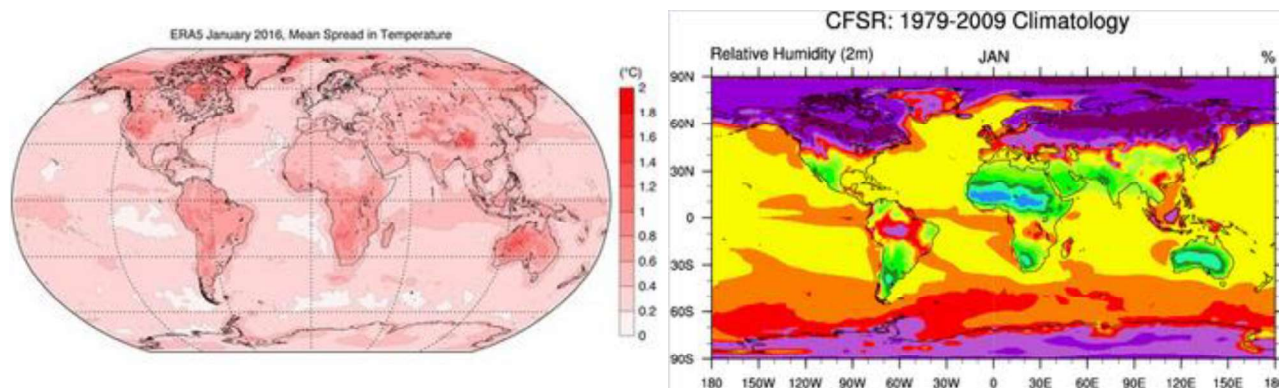


Figura 5.3 – Estensione dei due database: ERA5 a sinistra e CFSR a destra

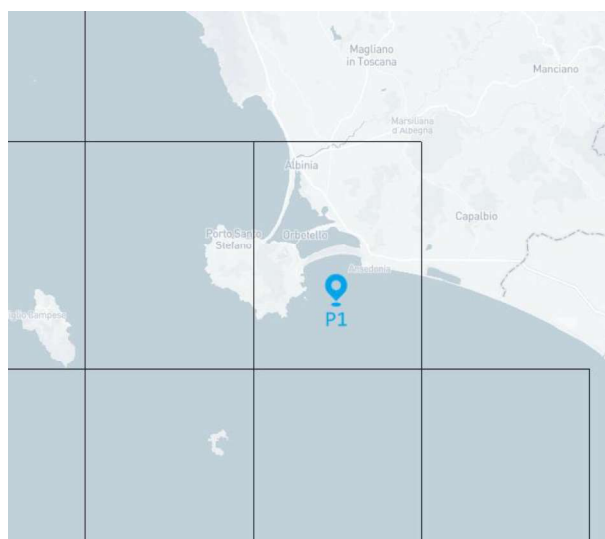


Figura 5.4 – Estratto del portale MetOcean nella zona di interesse

5.3 DATI METEOCLIMATICI

5.3.1 Dati Portale Copernicus

Al fine di individuare le forzanti alla modellistica si è fatto riferimento al database *COPERNICUS Marine Data Store*. Il database è generato da un sistema numerico composto da un modello idrodinamico, fornito dal *Nucleous for European Modeling of the Ocean* (NEMO v4.2), che include la rappresentazione delle maree, e da uno schema variazionale di assimilazione dei dati (*OceanVAR*) per i profili verticali di temperatura e salinità e variazioni di livello lungo i dati del tracciato. La risoluzione della griglia orizzontale del modello è 1/24° (circa 4-5 km) e i livelli verticali distanziati in modo non uniforme sono 141.

Il database contiene:

- **Dati di Rianalisi (*Mediterranean Sea Physics Reanalysis*¹):** campi 3D medi giornalieri, mensili e annuali di temperatura potenziale, salinità, velocità zonale e meridionale; Campi medi 2D giornalieri, mensili e annuali dello spessore dello strato misto oceanico e della temperatura potenziale del fondo; Campi medi 2D giornalieri, orari, mensili e annuali dell'altezza della superficie del mare e campi medi orari della velocità zonale e meridionale della superficie del mare.
- **Dati di Analisi e Previsioni Fisiche (*Mediterranean Sea Physics Analysis and Forecast*²):** campi medi mensili 3D di temperatura potenziale, salinità, velocità zonale e meridionale; Campi medi mensili 2D dello spessore dello strato misto dell'oceano, della temperatura potenziale del fondo e dell'altezza della superficie del mare.

Dalle banche dati a disposizione sono stati ricavati, per ogni punto del dominio di calcolo, dati medi orari o al più giornalieri di:

- dataset 3D della velocità della corrente (current speed);
- dataset 3D della temperatura della colonna d'acqua (temperature);
- dataset 3D della salinità della colonna d'acqua (salinity);
- dataset 2D del livello medio mare (sea surface height).

Nella figura di seguito è riportata l'estensione del dominio di calcolo su cui sono stati i dataset di dati a supporto delle analisi di cui alla presente relazione.

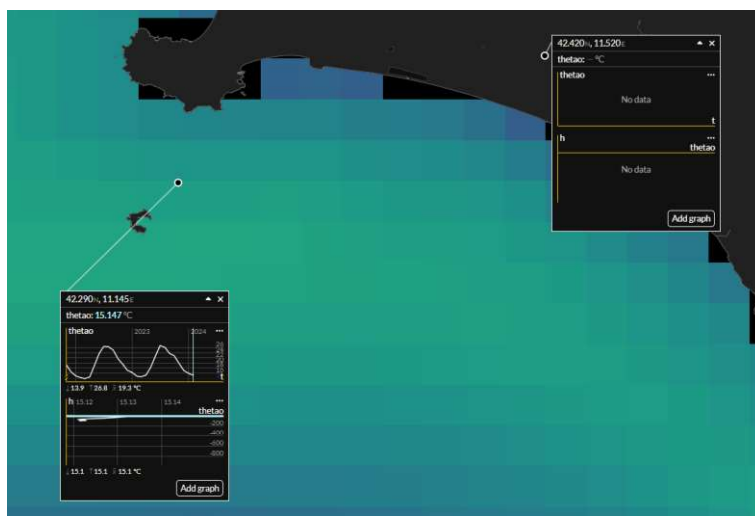


Figura 5.5 – Estremi planimetrici del dominio di calcolo

¹ Escudier, R., Clementi, E., Omar, M., Cipollone, A., Pistoia, J., Aydogdu, A., Drudi, M., Grandi, A., Lyubartsev, V., Lecci, R., Creti, S., Masina, S., Coppini, G., & Pinardi, N. (2020). Mediterranean Sea Physical Reanalysis (CMEMS MED-Currents) (Version 1) [Data set]. Copernicus Monitoring Environment Marine Service (CMEMS).

https://doi.org/10.25423/CMCC/MEDSEA_MULTIYEAR_PHY_006_004_E3R1

Escudier, R., Clementi, E., Cipollone, A., Pistoia, J., Drudi, M., Grandi, A., Lyubartsev, V., Lecci, R., Aydogdu, A., Delrosso, D., Omar, M., Masina, S., Coppini, G., Pinardi, N. (2021). A High Resolution Reanalysis for the Mediterranean Sea. *Frontiers in Earth Science*, 9, 1060, <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/feart.2021.702285>, DOI=10.3389/feart.2021.702285

Nigam, T., Escudier, R., Pistoia, J., Aydogdu, A., Omar, M., Clementi, E., Cipollone, A., Drudi, M., Grandi, A., Mariani, A., Lyubartsev, V., Lecci, R., Creti, S., Masina, S., Coppini, G., & Pinardi, N. (2021). Mediterranean Sea Physical Reanalysis INTERIM (CMEMS MED-Currents, E3R1i system) (Version 1) [Data set]. Copernicus Monitoring Environment Marine Service (CMEMS).

https://doi.org/10.25423/CMCC/MEDSEA_MULTIYEAR_PHY_006_004_E3R1

² DOI (Product): https://doi.org/10.25423/CMCC/MEDSEA_ANALYSISFORECAST_PHY_006_013_EAS8

References: Clementi, E., Aydogdu, A., Goglio, A. C., Pistoia, J., Escudier, R., Drudi, M., Grandi, A., Mariani, A., Lyubartsev, V., Lecci, R., Creti, S., Coppini, G., Masina, S., & Pinardi, N. (2021). Mediterranean Sea Physical Analysis and Forecast (CMEMS MED-Currents, EAS6 system) (Version 1) [Data set]. Copernicus Monitoring Environment Marine Service (CMEMS). https://doi.org/10.25423/CMCC/MEDSEA_ANALYSISFORECAST_PHY_006_013_EAS8

Area of interest



Draw on map Clear

N: 42.42
W: 11.145 E: 11.52
S: 42.29

Available data

Date range Use defaults Clear

Choose start and end times within this range: 01/11/2021 → 05/04/2024

From 15/12/2022 To 15/01/2024

Depth range Use defaults Clear

Choose start and end depths within this range: 1 m → 5754 m

From 1.02 To 203.17

Figura 5.6 – Interfaccia grafica con estensione del dominio di calcolo

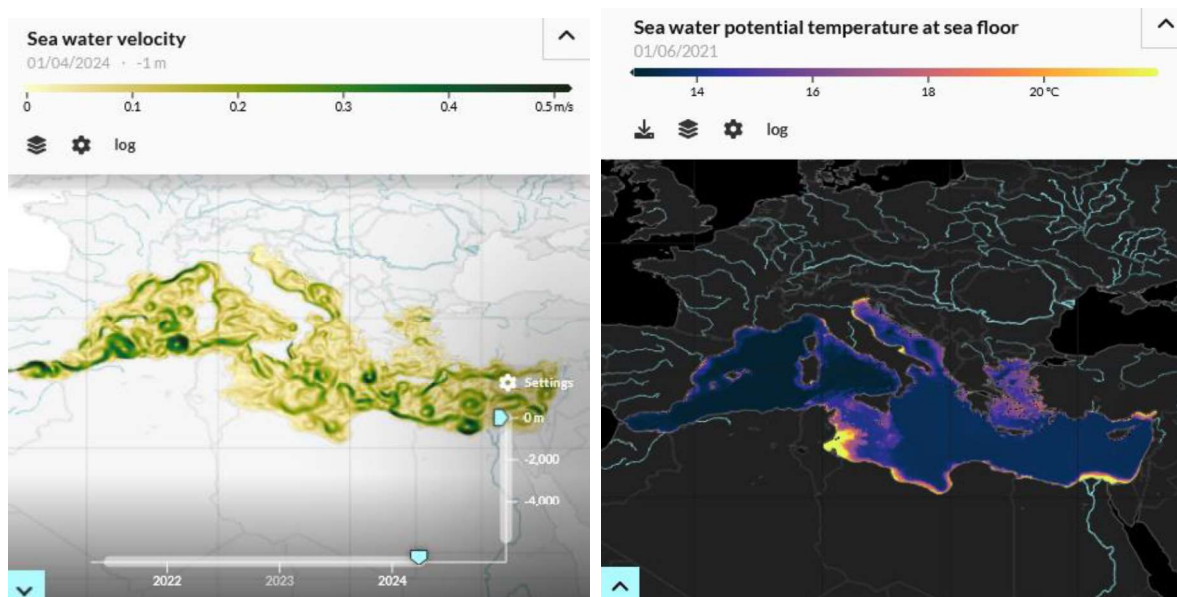


Figura 5.7 – Estratto del Mediterranean Sea Physics Analysis (sinistra) e Reanalysis (destra)

6. SELEZIONE DEGLI SCENARI DI SIMULAZIONE

Sulla base delle serie di dati acquisiti, descritti ed analizzati al capitolo precedente, si è proceduto alla definizione di eventi che fossero significativi ai fini della presente analisi di dinamica diffusionale.

In prima istanza è stata condotta un'analisi dei dati allo scopo di individuare l'anno di riferimento rappresentativo della circolazione idrodinamica tipica del paraggio.

A tal fine sono stati acquisiti dal portale Copernicus i dati di corrente disponibili su base giornaliera ed oraria, in riferimento agli anni dal 1987 al 2023. Sono stati quindi indagati i dati correntometrici al fine di determinare le direzioni prevalenti in termini di frequenza e velocità della corrente. La circolazione del paraggio presenta un andamento variabile, influenzato dalla presenza del promontorio del Monte Argentario, che comporta l'instaurarsi di regimi dinamici con circolazione a largo del Golfo della Feniglia prevalentemente antioraria. In corrispondenza del punto di scarico della condotta si registrano correnti prevalenti provenienti da est-sud-est, con valori massimi sul periodo indagato (35 anni) che raggiungono 0.5-1 [m/s].

L'anno 2023 conferma questa tendenza, ed è ben rappresentativo del regime correntometrico medio del paraggio, con picchi di velocità della corrente che raggiungono circa 0.4-0.5 [m/s] e direzioni prevalenti da est-sud-est, come si evince dalle figure seguenti.

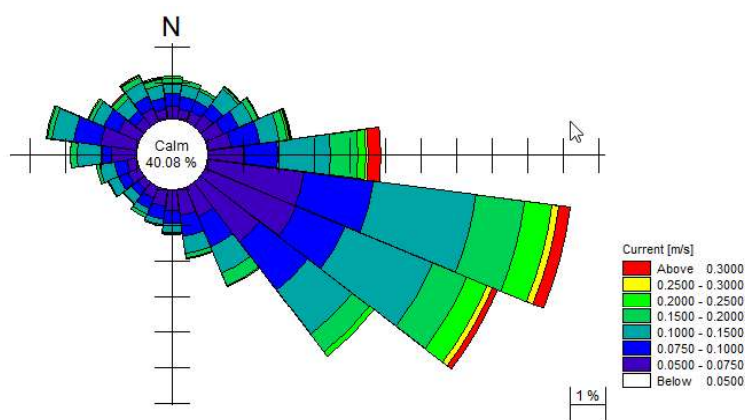


Figura 6.1 – Rosa delle correnti superficiali a largo del punto di scarico - anno 2023

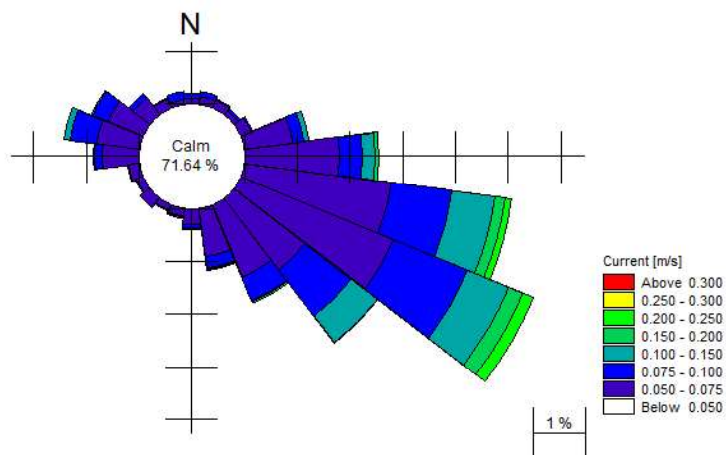


Figura 6.2 – Rosa delle correnti profonde (-35 m) a largo del punto di scarico - anno 2023

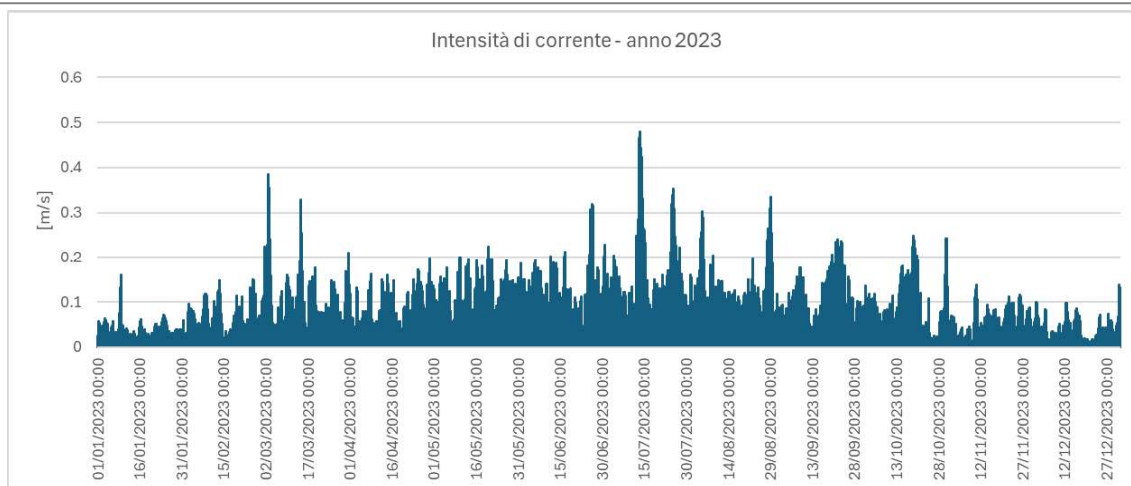


Figura 6.3 – Intensità di corrente a largo del punto di scarico - anno 2023

Si è, quindi, proceduto all'analisi dei gradienti di densità dovuti dalla stratificazione delle temperature che si verificano nei diversi periodi dell'anno e, dunque, il diverso regime di correnti barocline responsabili dei moti verticali sulla colonna d'acqua. In particolare, si sono analizzati i gradienti di temperatura, ovvero la differenza tra temperatura superficiale e temperatura al fondo, registrati in prossimità dello scarico nell'anno 2023.

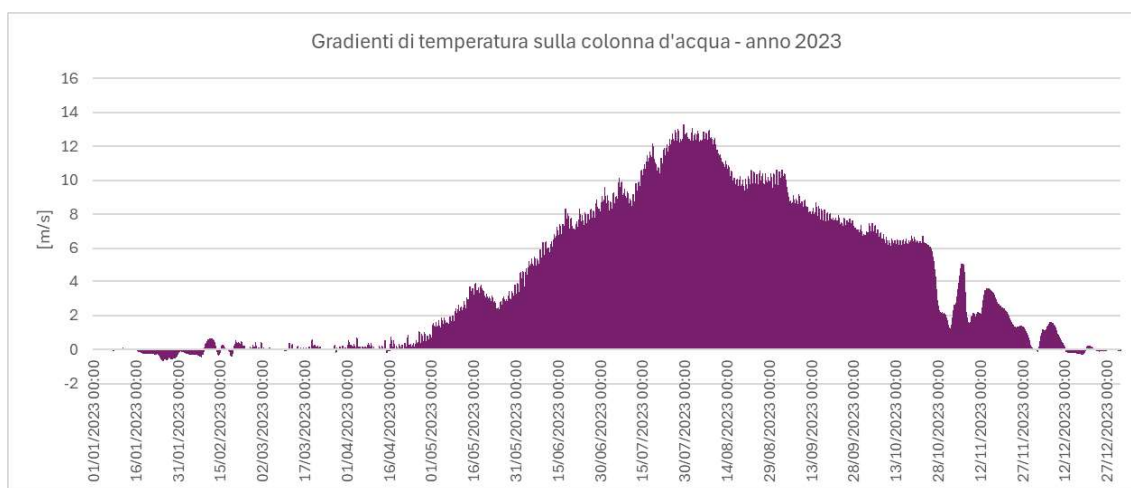


Figura 6.4 – Gradienti di temperatura a largo del punto di scarico - anno 2023

In ragione di quanto sopra, si è dunque deciso di indagare due diverse condizioni: una **condizione di circolazione media invernale**, in cui si vogliono massimizzare gli effetti delle correnti idrodinamiche tipiche del paraggio, e una **condizione di circolazione media estiva**, in cui si massimizzano gli effetti delle stratificazioni tipiche dei gradienti di temperatura e salinità sulla colonna d'acqua.

Si precisa che i dati meteomarini presi a riferimento in questa analisi riguardano essenzialmente i dati di corrente, temperatura e salinità. Le dinamiche di dispersione degli effluenti allo scarico, posto alla profondità di circa -35 m dalla superficie media marina, non sono infatti influenzabili in maniera significativa dalle condizioni d'onda, in quanto ben lontani dalla zona di frangimento del moto ondoso.

6.1.1 Condizione di circolazione media invernale

Per la definizione della condizione di circolazione media invernale è stato analizzato il regime correntometrico nel periodo compreso tra il 15 dicembre 2022 ed il 31 marzo 2023. Analizzando le rose di corrente del periodo, si evince che le correnti più intense sono quelle con provenienza da est-sud-est (Figura 6.5 e Figura 6.6) con valori di picco in superficie prossimi a 0.4 m/s (rif. Figura 6.7).

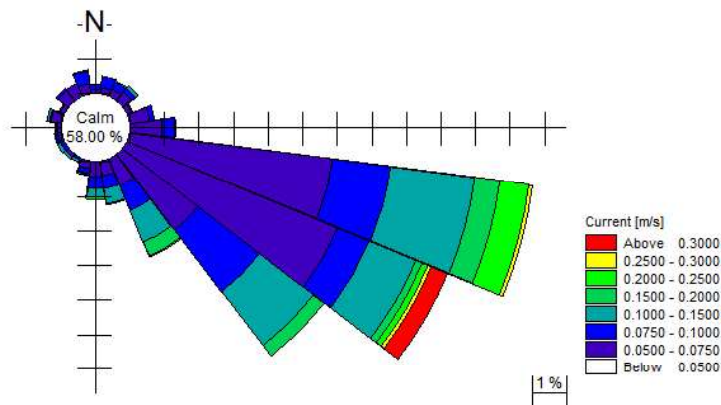


Figura 6.5 – Rosa delle correnti superficiali a largo del punto di scarico - periodo invernale 2023

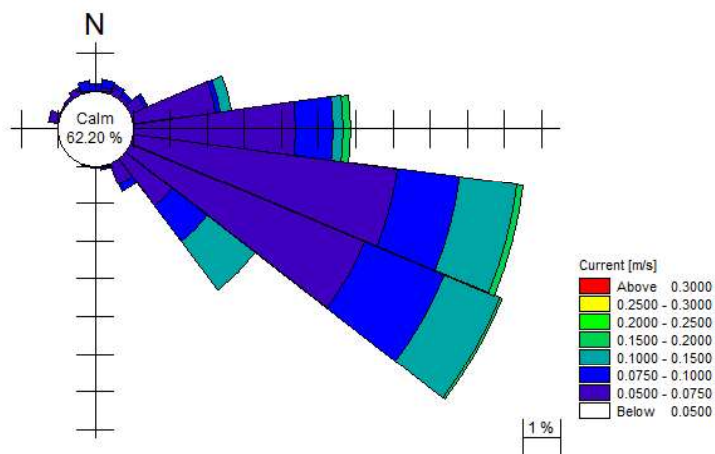


Figura 6.6 – Rosa delle correnti profonde (-35 m) a largo del punto di scarico - periodo invernale 2023

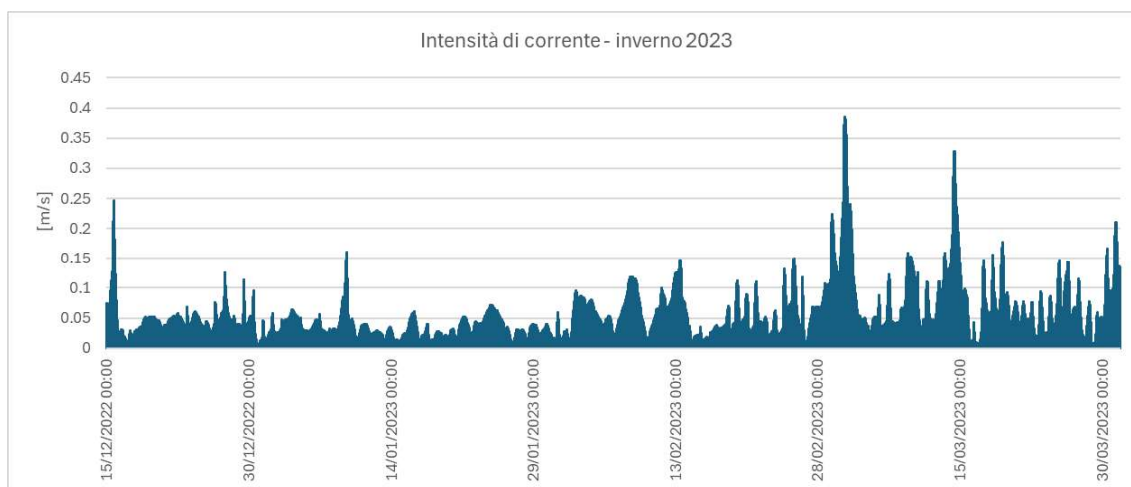


Figura 6.7 – Valori di velocità delle correnti superficiali a largo del punto di scarico - periodo invernale 2023

Il periodo di riferimento scelto è stato individuato nella finestra temporale in cui si verifica la circolazione correntometrica più intensa, ovvero tra il **01 marzo 2023 alle 00:00** e il **11 marzo 2023 alle 00:00**. Nella scelta non si è tenuto conto delle escursioni di temperatura e salinità sulla colonna d'acqua, in quanto il fenomeno della stratificazione nel periodo invernali è trascurabile.

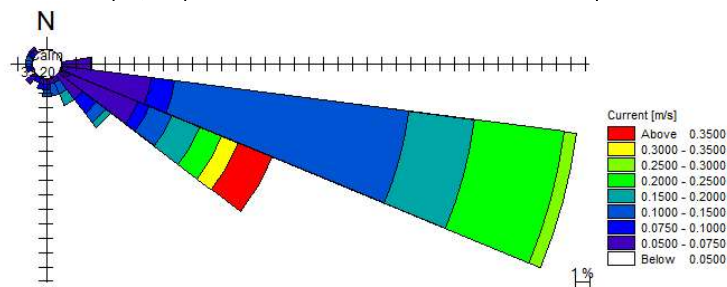


Figura 6.8 – Rosa delle correnti superficiali a largo dello scarico - periodo dal 01 marzo all'11 marzo 2023

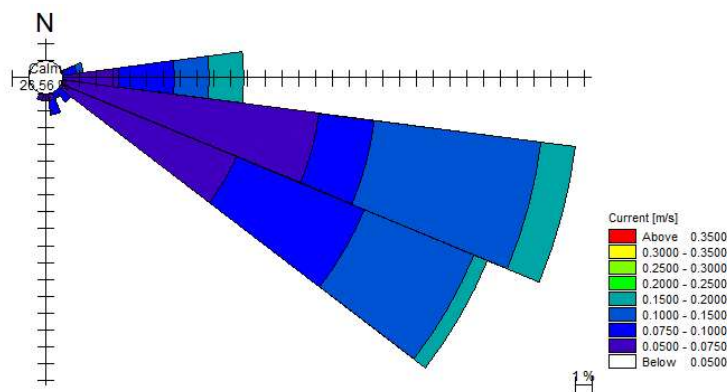


Figura 6.9 – Rosa delle correnti profonde a largo dello scarico - periodo dal 01 marzo all'11 marzo 2023

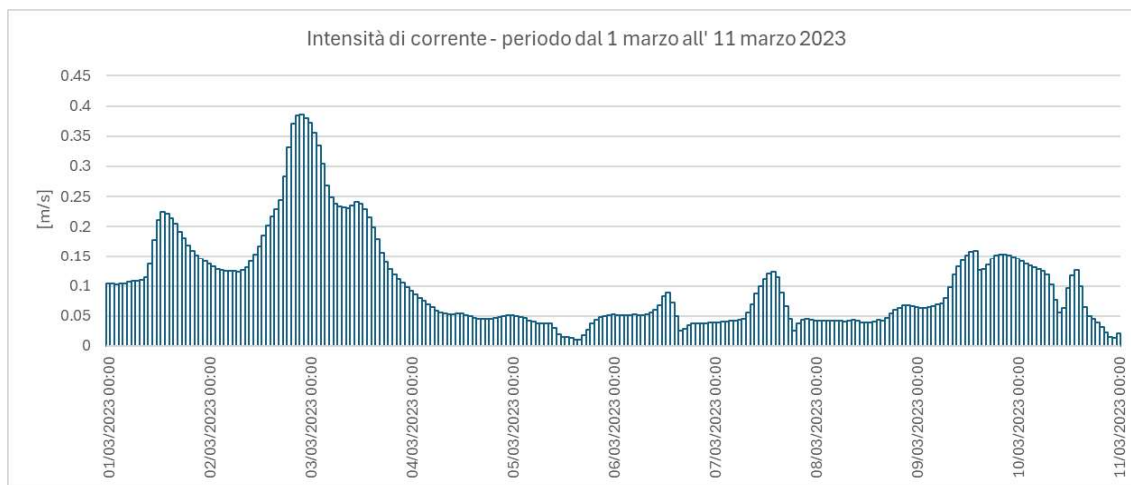


Figura 6.10 – Valori di velocità delle correnti superficiali a largo del punto di scarico - periodo dal 01 marzo all'11 marzo 2023

6.1.2 Condizione di circolazione media estiva

Per la definizione della condizione di circolazione media estiva è stato analizzato il periodo compreso tra il 15 giugno ed il 15 settembre 2023. Per il periodo estivo, in cui sono massimi i gradienti di temperatura e salinità lungo la colonna d'acqua, sono stati presi a riferimento anche i valori di temperatura registrati sul periodo in modo da tener conto dei moti verticali nella colonna d'acqua. Il periodo di riferimento scelto è risultato **tra il 22 luglio 2023 alle 00:00 e il 01 agosto 2023 alle 00:00**, che presenta un regime di correnti con valori di picco di circa 0.33 m/s e direzione di provenienza da est e presenta gradienti di temperatura massimi (circa 13°, tra i circa 29° in superficie ed i 16° al fondo).

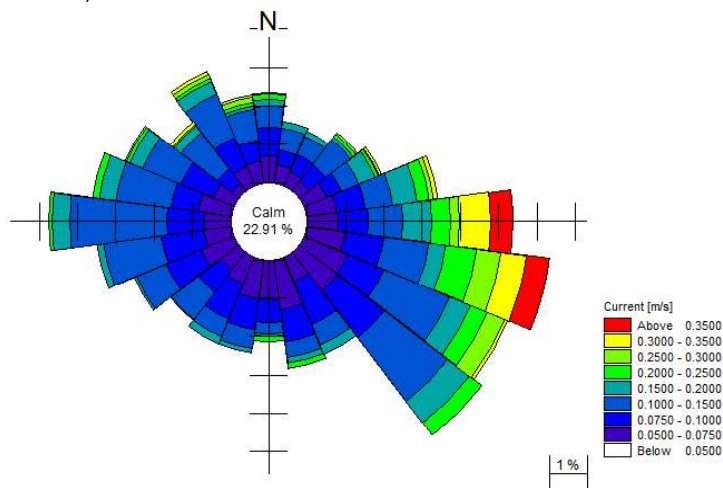


Figura 6.11 – Rosa delle correnti superficiali a largo del punto di scarico - periodo estivo 2023

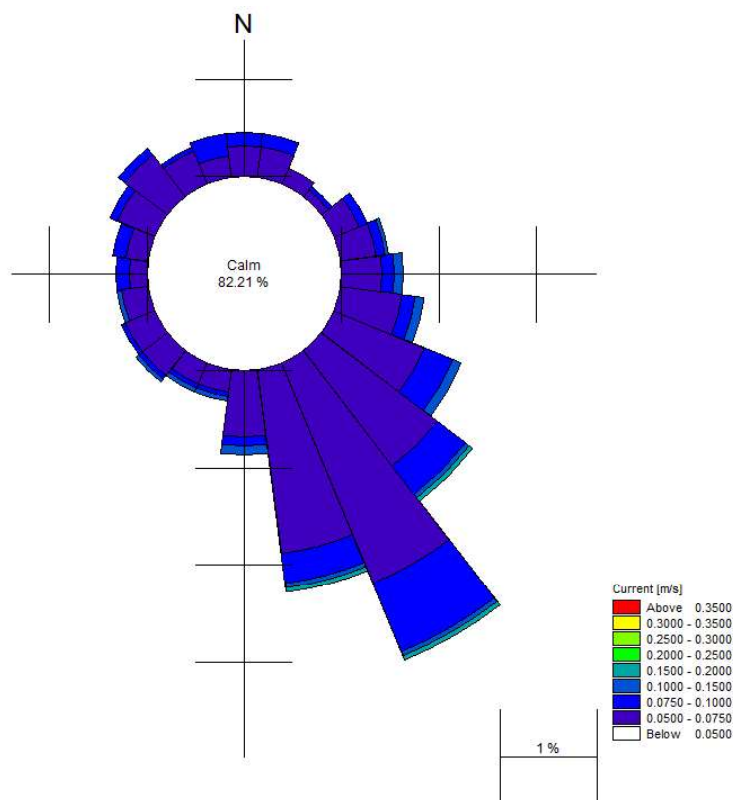


Figura 6.12 – Rosa delle correnti profonde a largo del punto di scarico - periodo estivo 2023

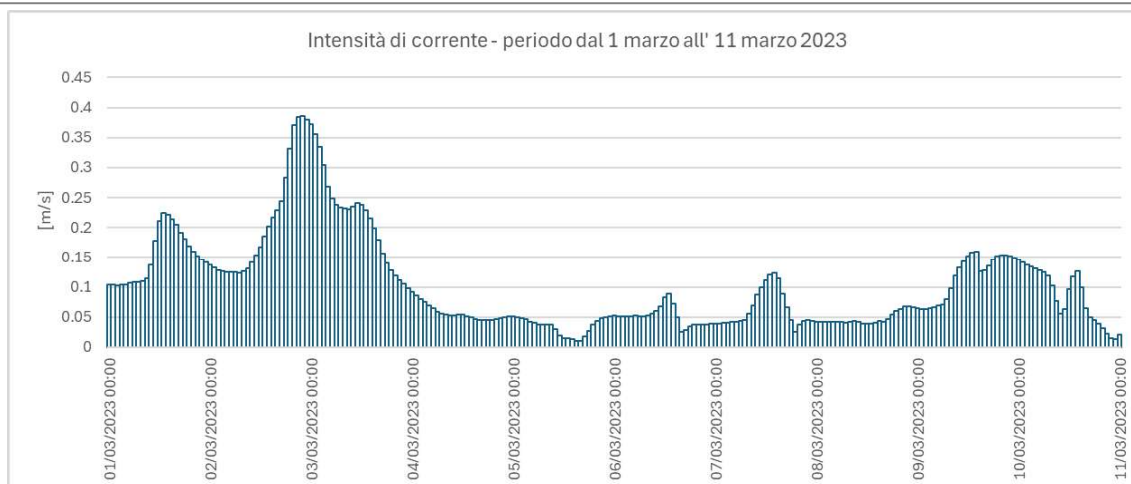


Figura 6.13 – Valori di velocità delle correnti superficiali a largo del punto di scarico - periodo estivo 2023

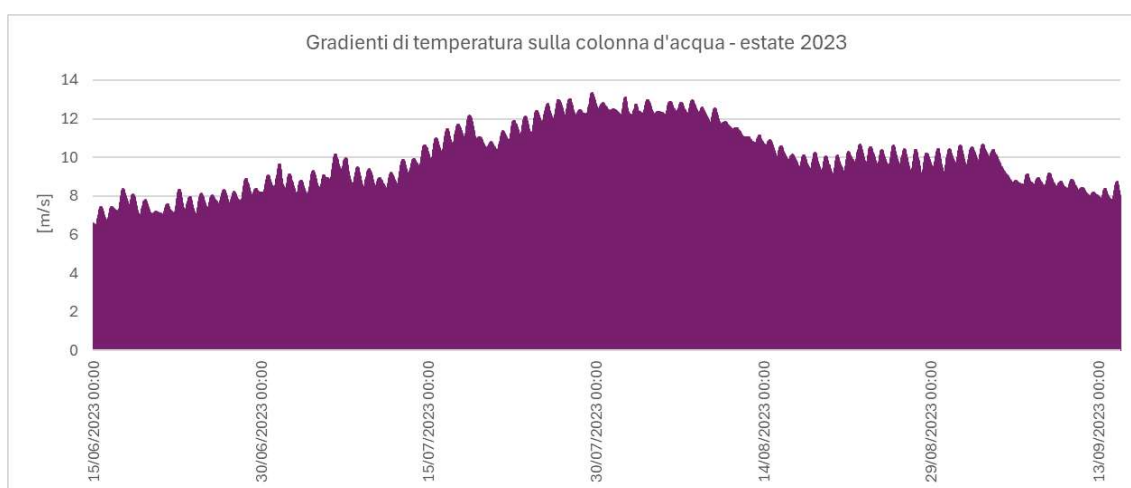


Figura 6.14 – Gradienti di temperatura sulla colonna d'acqua a largo del punto di scarico - periodo estivo 2023

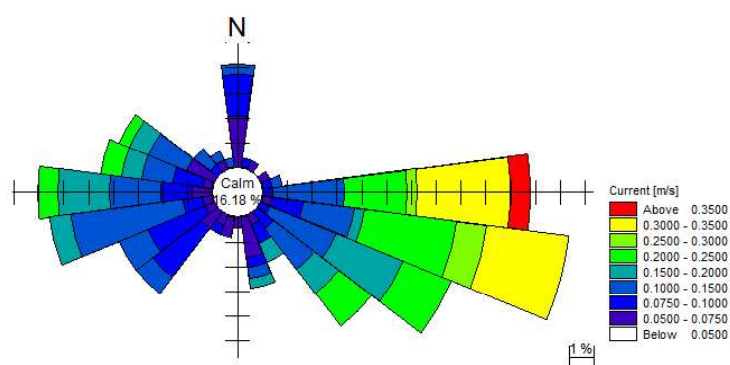


Figura 6.15 – Rosa delle correnti superficiali a largo dello scarico - periodo dal 22 luglio al 1 agosto 2023

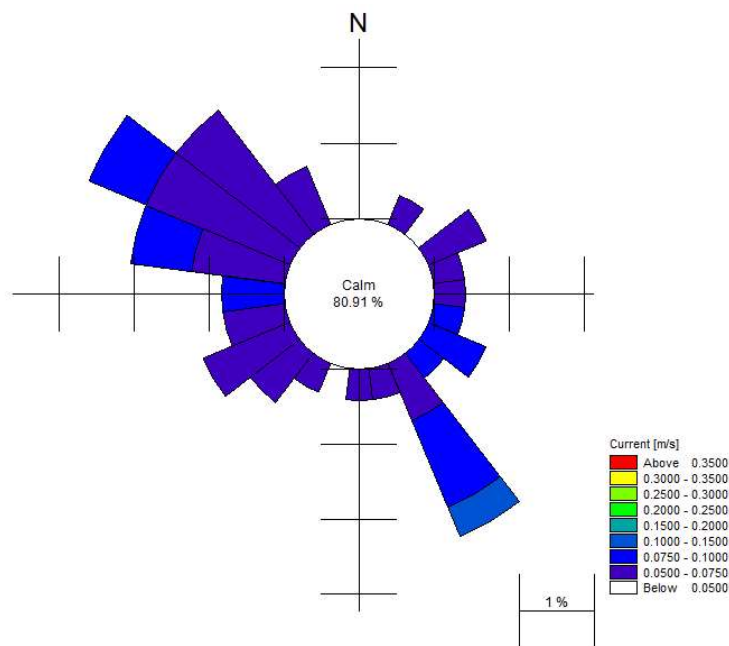


Figura 6.16 – Rosa delle correnti profonde a largo dello scarico - periodo dal 22 luglio al 1 agosto 2023

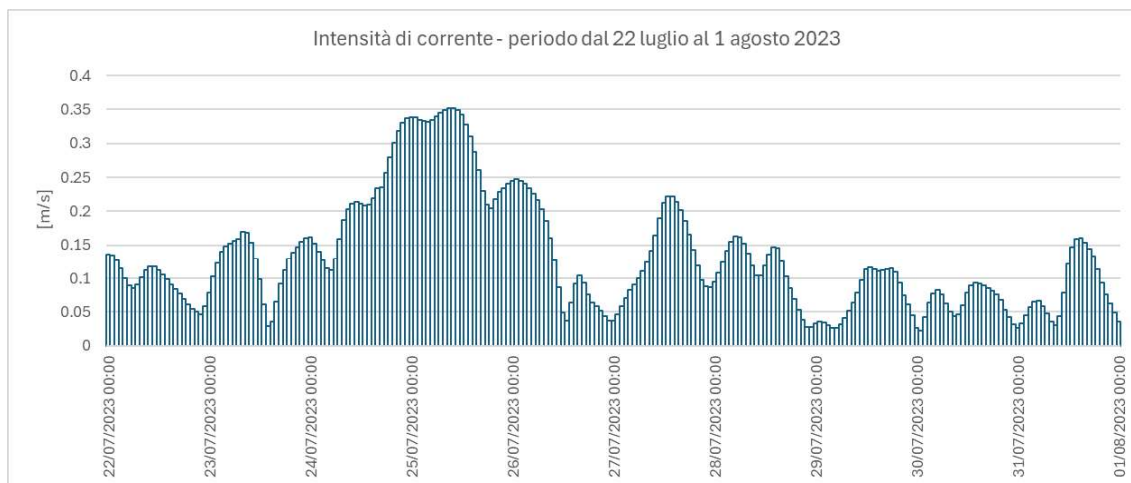


Figura 6.17 – Valori di velocità delle correnti superficiali a largo del punto di scarico - periodo dal 22 luglio al 1 agosto 2023

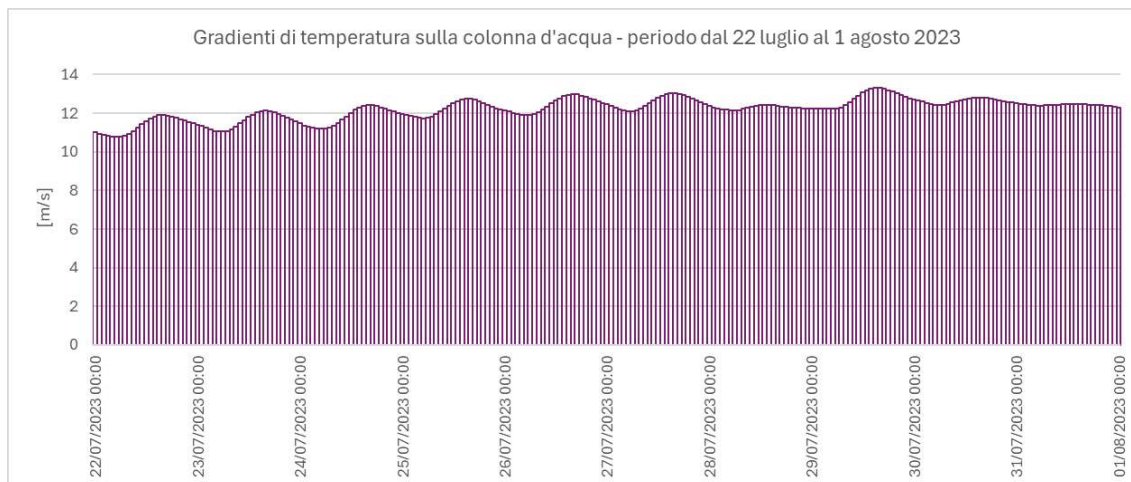


Figura 6.18 – Gradienti di temperatura sulla colonna d'acqua a largo del punto di scarico - periodo dal 22 luglio al 1 agosto 2023

7. MODELLO IDRODINAMICO

Al fine di dettagliare le condizioni idrodinamiche tipiche che interessano l'area in analisi, è stata implementata una modellazione di tipo idrodinamico, di fatto un *modello di downscaling* dei dati del modello globale di Copernicus. Attraverso l'approccio modellistico tridimensionale è possibile riprodurre il campo di correnti indotte dal moto ondoso durante specifici eventi particolarmente significativi o determinati periodi, così da interpretare le possibili dinamiche di circolazione. Per studiare in dettaglio i campi di corrente indotta dal moto ondoso durante i periodi scelti si è utilizzato il modello idrodinamico MIKE 21/3 (HD) di DHI.

Il modello MIKE 21/3 è un modello numerico per la simulazione di correnti, onde, trasporto solido e qualità delle acque in fiumi, laghi, baie, aree costiere e mare aperto. La combinazione di un'interfaccia grafica avanzata con un motore di calcolo robusto ed affidabile, frutto di un pluriennale e continuo sviluppo da parte di DHI, lo rende uno strumento per l'ingegneria idraulica marittima versatile per tutto il mondo.

Le applicazioni tipiche del modello MIKE 21/3 sono le seguenti:

- Modellazione di idrodinamica, trasporto solido e qualità delle acque in fiumi, laghi ed aree golenali;
- Studio del moto ondoso in aree costiere, bacini portuali ed offshore;
- Analisi di idrodinamica, trasporto solido e morfologia in aree costiere;
- Analisi della qualità delle acque al largo e sottocosta;
- Supporto alla pianificazione e progettazione di opere costiere ed offshore;
- Supporto alla pianificazione e progettazione di opera fluviali;
- Supporto all'ottimizzazione di layout portuali;
- Analisi di impatto ambientale;
- Previsione degli stati di mare a supporto della navigazione;
- Analisi di allagamenti in aree costiere e fenomeni di surge.

Il software offre quattro approcci geometrici possibili che si differenziano in base alla schematizzazione geometrica adottata:

- Griglia singola: le equazioni di continuità e del moto sono risolte con una tecnica implicita alle differenze finite su una griglia rettangolare, uniforme in tutto il dominio di calcolo.
- Griglia multipla: questo schema utilizza lo stesso approccio della griglia singola, con la possibilità di innestare nel dominio griglie a risoluzione crescente nelle aree ove sia richiesto un maggiore dettaglio.
- Volumi finiti: l'approccio ai volumi finiti garantisce il massimo della flessibilità, in particolare per domini di calcolo estesi in cui sia necessario adottare una risoluzione spaziale variabile. È possibile utilizzare elementi triangolari o quadrangolari anche in modo accoppiato. MIKE 21/3 FM è oggi il codice di calcolo più utilizzato in campo marittimo e costiero.
- Maglia curvilinea: è la griglia adottata da MIKE 21/3 C, codice di calcolo studiato appositamente per applicazioni di morfologia fluviale.

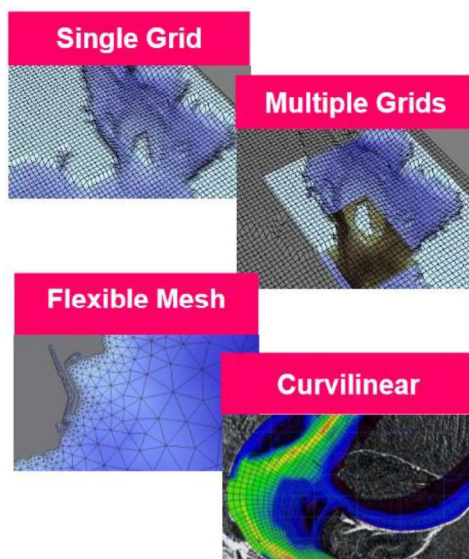


Figura 7.1 – Tipologie di approcci di schematizzazione geometrica

Tra questi, l'approccio Flexible Mesh (FM) è un sistema di modellazione completo per la modellazione dell'acqua bi/tridimensionale sviluppato da DHI. I modelli 2D e 3D portano gli stessi nomi delle classiche versioni del modello DHI MIKE 21 e MIKE 3 con l'aggiunta di una "FM" in riferimento al tipo di griglia del modello, ovvero una mesh flessibile.

Il sistema di modellizzazione è stato sviluppato per applicazioni complesse in ambienti oceanografici, costieri ed estuari. Tuttavia, essendo un sistema di modellazione generale per flussi a superficie libera 2D e 3D, può essere applicato anche per studi di acque superficiali interne, ad es. inondazioni terrestri e laghi o bacini artificiali.

I moduli della serie Flexible Mesh (FM) di DHI sono i seguenti:

- **Moduli FM modello di flusso**
 - **Modulo idrodinamico, HD**
 - Modulo di trasporto, TR
 - Modulo Ecologia, ECO Lab
 - Modulo per la fuoriuscita di petrolio, ELOS
 - Modulo di trasporto della sabbia, ST
 - Modulo di trasporto del fango, MT
 - Modulo di tracciamento delle particelle, PT
- **Modulo d'onda**
 - Modulo Onde Spettrali, SW

7.1 MODELLAZIONE IDRODINAMICA HD

Il modulo idrodinamico (HD) simula le variazioni di livello e corrente in risposta alle differenti tipologie di forzanti considerate. HD consente la simulazione di un'ampia gamma di fenomeni idraulici anche in presenza di strutture complesse. Per il modello idrodinamico HD in Mike 3D, la superficie libera viene presa in considerazione utilizzando un approccio di trasformazione delle coordinate sigma o utilizzando una combinazione di un sistema di coordinate sigma e di livello z.

Di seguito le equazioni governanti sono presentate utilizzando le coordinate cartesiane. L'equazione di continuità locale è scritta come:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = S$$

e le due equazioni della quantità di moto orizzontale, rispettivamente per le componenti x e y, sono:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u^2}{\partial x} + \frac{\partial vu}{\partial y} + \frac{\partial wu}{\partial z} &= fv - g \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial x} - \frac{g}{\rho_0} \int_z^\eta \frac{\partial \rho}{\partial x} dz + F_u + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_t \frac{\partial u}{\partial z} \right) + u_s S \\ \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial v^2}{\partial x} + \frac{\partial uv}{\partial y} + \frac{\partial wv}{\partial z} &= -fu - g \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial y} - \frac{g}{\rho_0} \int_z^\eta \frac{\partial \rho}{\partial y} dz + F_v + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_t \frac{\partial v}{\partial z} \right) + v_s S \end{aligned}$$

Nel modulo idrodinamico HD, il calcolo di trasporto di temperatura (T) e salinità (s) seguono una equazione generale di trasporto/diffusione, ovvero:

$$\begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial uT}{\partial x} + \frac{\partial vT}{\partial y} + \frac{\partial wT}{\partial z} &= F_T + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_v \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \hat{H} + T_s S \\ \frac{\partial s}{\partial t} + \frac{\partial us}{\partial x} + \frac{\partial vs}{\partial y} + \frac{\partial ws}{\partial z} &= F_s + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_v \frac{\partial s}{\partial z} \right) + T_s S \end{aligned}$$

La diffusione orizzontale è definita come:

$$(F_T, F_s) = \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(D_h \frac{\partial}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_h \frac{\partial}{\partial y} \right) \right] (T, s)$$

Le equazioni per il flusso bidimensionale si ottengono integrando le equazioni sulla profondità. È compreso anche lo scambio termico con l'atmosfera

Nelle equazioni sopra riportate

- T è il tempo;
- x, y, z sono le coordinate cartesiane;

- u, v, w
- T, s sono temperatura e salinità;
- D_v è il coefficiente della componente diffusiva verticale (vertical turbulent (eddy) diffusion coefficient);
- \dot{H} è il termine dovuto allo scambio con l'atmosfera;
- S è la portata dovuta alle forzanti puntuali;
- T_s, s_s sono temperature e salinità delle forzanti;
- F_T, F_s, F_c sono i termini diffusive orizzontali;
- D_h è il coefficiente diffusivo orizzontale;
- h è la profondità.

Gli input principali previsti sono suddivisi nei seguenti gruppi:

Dominio di calcolo spazio/temporale	<ul style="list-style-type: none"> • mesh di calcolo computazionale • batimetria • lunghezza della simulazione • passo temporale [time step di calcolo]
Fattori di calibrazione	<ul style="list-style-type: none"> • coefficiente di dispersione • fattori di attrito del vento • resistenza del fondo
Condizioni Iniziali	<ul style="list-style-type: none"> • Superficie del livello del mare • Componenti di velocità
Condizioni al contorno	<ul style="list-style-type: none"> • Livello dell'acqua • portata • Altre
Altre forzanti	<ul style="list-style-type: none"> • velocità e direzione del vento • escursione mareale • immissioni (source) e dispersioni (sink) puntuali • wave radiation stress

Tabella 7.1 – Principali input del codice di calcolo di Mike 3D HD

Per approfondimenti in merito al codice di calcolo, ai dati in ingresso e ai risultati forniti dal software rimandiamo alla documentazione tecnica messa a disposizione online da DHI Group (<https://www.dhigroup.com/>).

7.2 BATIMETRIA E DOMINIO DI CALCOLO

Il modello alla base del software di calcolo è basato sulla modellazione tridimensionale dell'acqua sviluppato da DHI. Il software MIKE 21/3 è di tipo FM (*flexible mesh*), ovvero griglie a maglia flessibile. Queste offrono il massimo grado di flessibilità, garantendo ad esempio:

- il controllo della distribuzione dei nodi;
- adozione di diverse risoluzioni della mesh;
- variazione in funzione della profondità e adattabilità ai contorni.

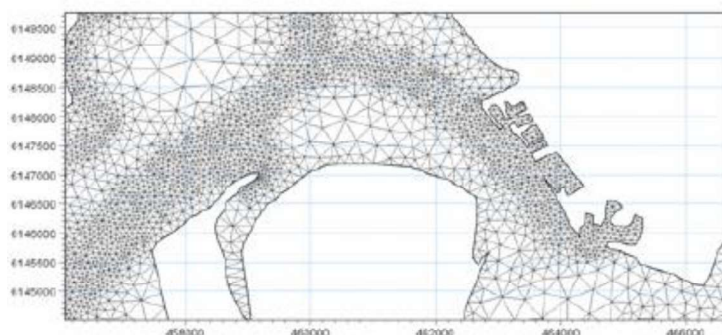


Figura 7.2 – Esempio di Flexible Mesh

Al fine di rappresentare opportunamente la variabilità batimetrica al dettaglio necessario per una corretta caratterizzazione della circolazione idrodinamica delle correnti su profondità limitate e, al contempo, garantire la sostenibilità dei tempi computazionali, l'area del dominio di calcolo è stata suddivisa in differenti sottodomini planimetrici, ognuno caratterizzato da una risoluzione (intesa come lato del triangolo della mesh) differente. La scelta di aumento incrementale di risoluzione verso l'area di interesse consente di riprodurre le dinamiche prettamente costiere ad un grado di dettaglio adeguato alle finalità del presente lavoro.

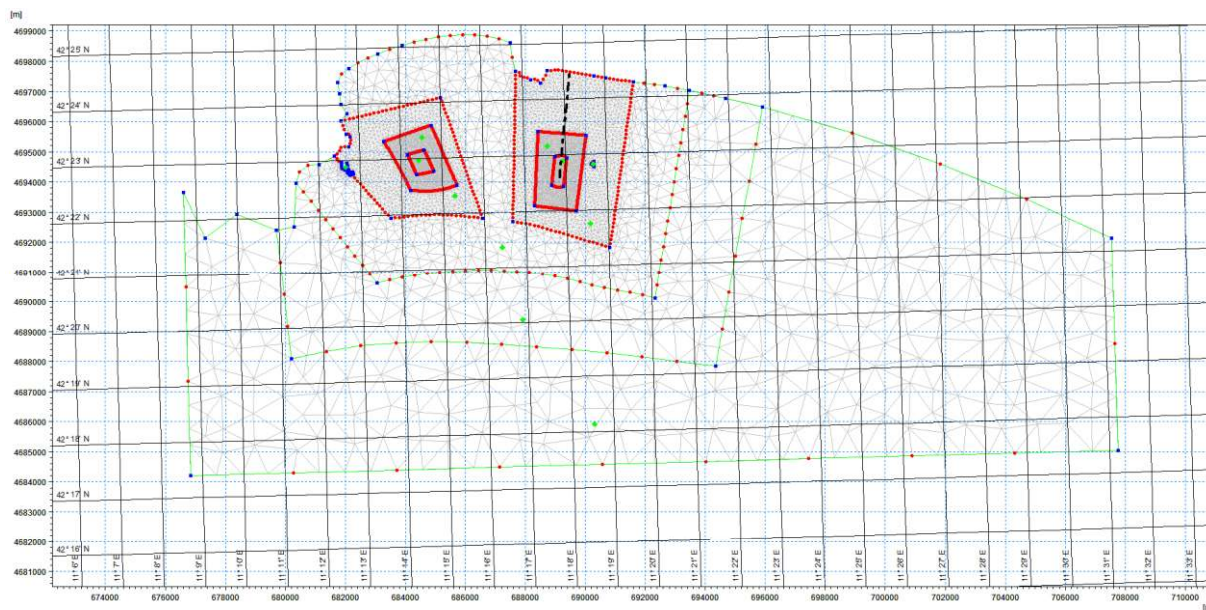


Figura 7.3 – Distribuzione della risoluzione della mesh di calcolo del modello

Ad ogni area è stata, dunque, assegnata una risoluzione della mesh variabile in ragione del livello di dettaglio necessario alle analisi da condursi. Nella seguente Figura 7.4 sono indicate le aree del dominio, differenziandole secondo il livello di dettaglio assegnato, riportato nella successiva Tabella 7.2.

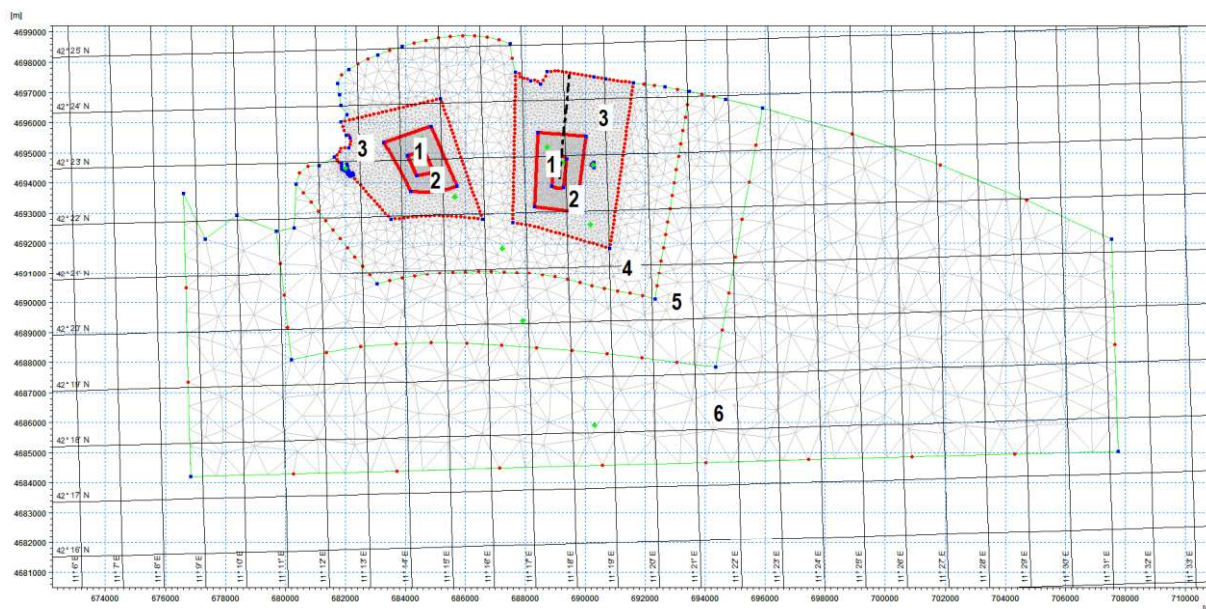


Figura 7.4 – Aree con livelli di dettaglio

Livello di dettaglio	Lato [m]	Area [m²]
1	15	140.63
2	45	1265.63
3	135	11390.63
4	405	102515.63
5	1215	922640.625
6	3645	8303765.63

Tabella 7.2 – Livelli di dettaglio e dimensioni delle mesh assegnate

La dimensione e la risoluzione del dominio di calcolo sono state individuate al fine di rappresentare al meglio tutti i fenomeni che intervengono nella propagazione dell'onda da largo verso costa, ottimizzando al contempo i tempi computazionali di calcolo. La griglia di mesh determinata è, allo strato superficiale, caratterizzata 19388 elementi triangolari e 9794 nodi. Per quanto concerne la discretizzazione geometrica della colonna d'acqua si rimanda ai paragrafi successivi.

La caratterizzazione batimetrica dell'area oggetto di analisi è stata effettuata sulla base dei rilievi di dettaglio e della cartografica disponibile così come descritti nel precedente capitolo §4 - CAMPAGNA RILIEVI e §5.1 - Dati topo-batimetrici. Il risultato finale dell'interpolazione dei dati batimetrici a disposizione è riportato nella sua estensione completa nella seguente figura.

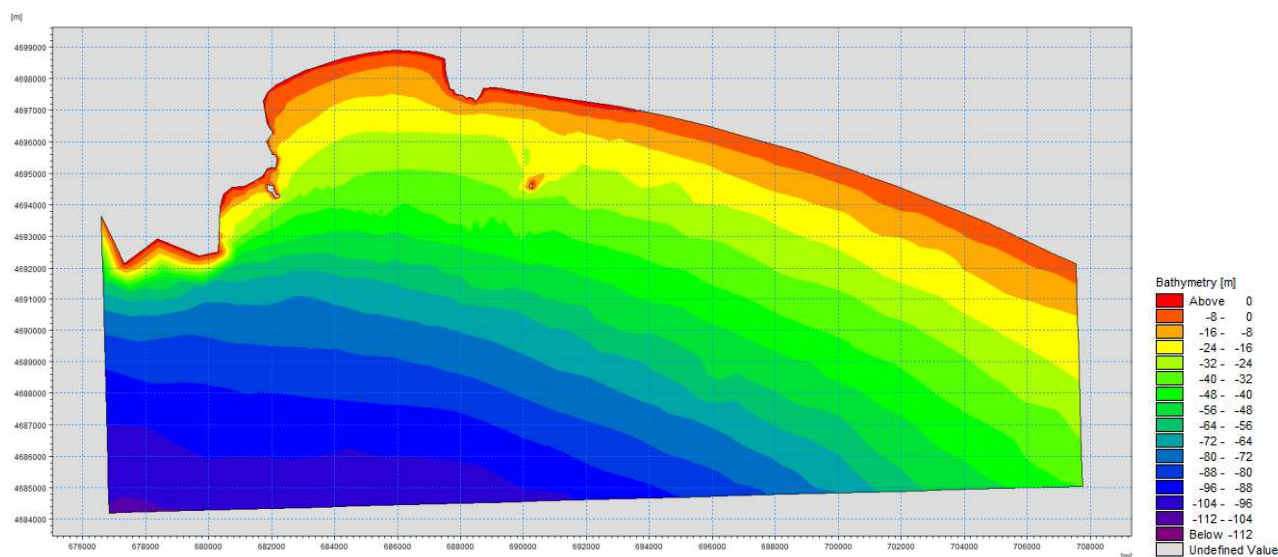


Figura 7.5 – Batimetria ottenuta dal processamento dei dati batimetrici a disposizione

7.3 DISCRETIZZAZIONE VERTICALE

Come descritto nel paragrafo precedente, la mesh tridimensionale di MIKE 3D offre una buona variabilità in funzione della profondità (Figura 7.6).

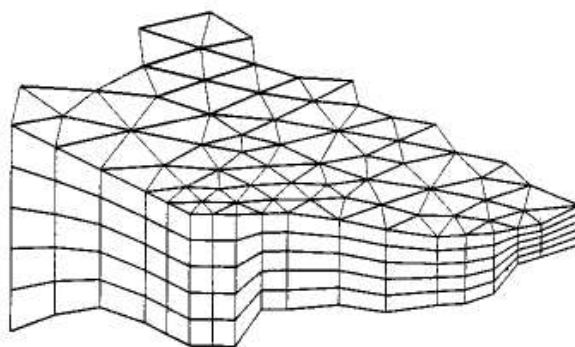


Figura 7.6 – Principio di funzionamento della mesh tridimensionale

Il codice di calcolo permette una discretizzazione verticale della mesh secondo tre modalità:

- attraverso l'uso di *sigma layer*, ovvero una suddivisione della colonna d'acqua in un numero fisso di strati di spessore variabile in proporzione alla profondità complessiva (Figura 7.7);
- attraverso l'uso di *zeta layer*, ovvero una suddivisione della colonna d'acqua in un numero variabile di strati di altezza fissa;
- attraverso l'uso combinato di *sigma* e *zeta layer* (Figura 7.8).

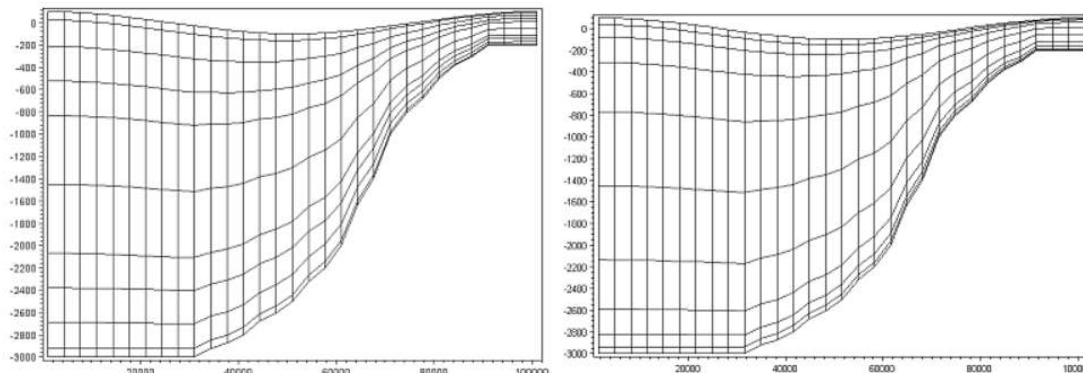


Figura 7.7 – Esempi di *sigma layer*

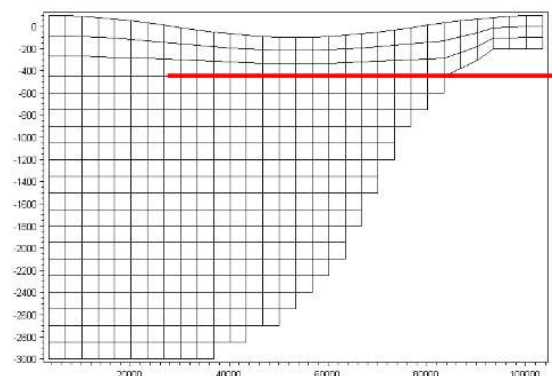


Figura 7.8 – Esempio di combinazione di *sigma layer* (sopra la linea rossa) e *z layer* (sotto la linea rossa)

Al fine di meglio dettagliare le dinamiche di corrente nelle zone di acque basse (*shallow water*) e al contempo di rappresentare tutte le profondità del dominio di calcolo ottimizzando i tempi computazionali di calcolo, si è optato per l'uso accoppiato di 10 *sigma-layer* fino alla profondità di 40 metri rispetto al livello del medio mare e 7 *zeta-layer* sulla restante porzione di colonna d'acqua.

7.4 CONDIZIONI INIZIALI E AL CONTORNO

In questo paragrafo si descrivono brevemente le condizioni iniziali e al contorno applicate al modello idrodinamico, individuate a partire dai dati raccolti e dettagliati ai paragrafi precedenti.

Come **condizioni iniziali** sono stati ricavati, a partire dai dati meteorologici derivati dal database Copernicus (§5.3.1), i valori di velocità della corrente, di temperatura e salinità in ogni punto della colonna d'acqua nel volume di calcolo. Sono inoltre stati stimati i valori di altezza totale della colonna d'acqua in ogni punto del dominio, anche essi derivati dal Database Copernicus.

Come **condizioni al contorno** sono state ricavate condizioni di tipo meteorologico (derivati dal Database Copernicus, §5.3.1) al fine di tener conto sia delle dinamiche della corrente, sui limiti esterni del dominio di calcolo (*boundaries*) di cui alla seguente figura. Sono state, inoltre, implementate su tutto il dominio condizioni al contorno di tipo atmosferico, derivati dal database MetOcean §5.2, al fine di considerare gli scambi di energia e temperatura tra aria e acqua.

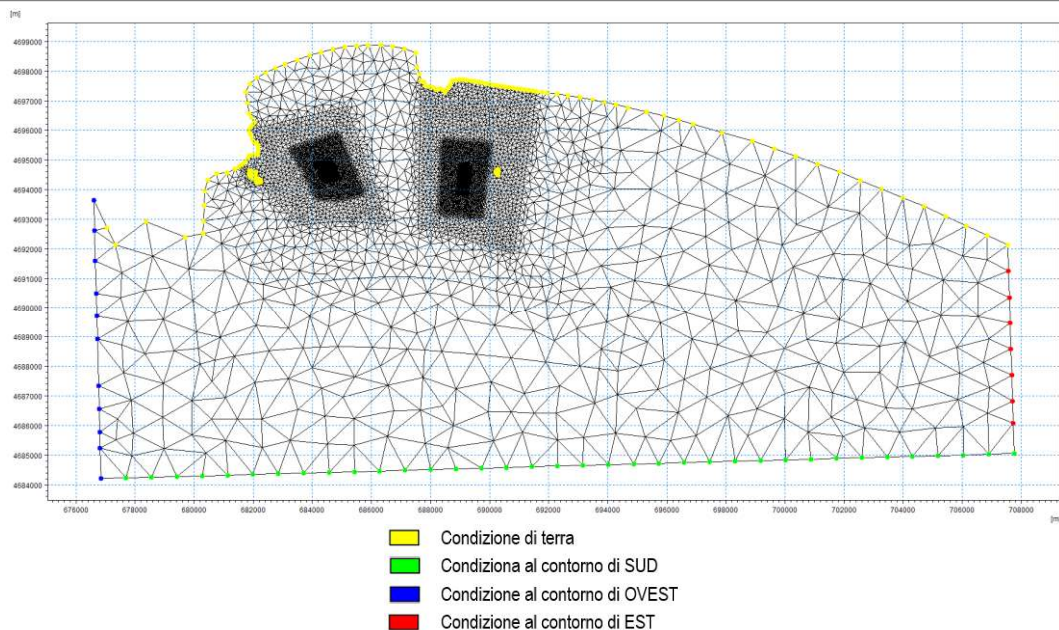


Figura 7.9 – Distribuzione delle condizioni al contorno nel dominio di calcolo

A partire dai dati meteorologici ed atmosferici descritti nel capitolo dedicato, sono state individuate le condizioni al contorno sui bordi est, sud e ovest relative a velocità della corrente, temperatura e salinità sulla colonna d'acqua e il livello del mare.

Inoltre, è stata inserita come forzante al modello, nel punto di scarico, la *portata effluente dalla condotta*. L'impianto di sollevamento che rilancia i reflui depurati alla condotta di scarico sottomarina è dotato di sistemi di pompe con portata rispettivamente pari a 0.34 [mc/s] (gruppo di pompe n.1) e 0.49 [mc/s] (gruppo di pompe n.2). Attualmente la condotta sottomarina è alimentata solo Gruppo di Pompe n.1, ovvero quello caratterizzato da a portata inferiore (0.34 mc/s). Tale valore è stato, dunque, assunto come forzante nella modellistica implementata.

7.5 RISULTATI DELLA MODELLAZIONE

Sulla base delle condizioni iniziali ed al contorno precedentemente descritte e dettagliate, sono stati implementati i modelli di circolazione della corrente per gli scenari individuati e descritte al Capitolo §6 - *SELEZIONE DEGLI SCENARI DI SIMULAZIONE*, per un tempo di simulazione, per ciascun evento, la cui durata è pari a 10 giorni.

Nei paragrafi di seguito si riportano, dunque, i risultati delle modellazioni idrodinamiche condotte. In particolare, a titolo di esempio, si graficizzano i risultati relativi alle dinamiche della corrente ed alla distribuzione di temperatura e salinità in uno step temporale rappresentativo per ciascun periodo di riferimento, ovvero:

- **Invernale**, relativo al 02/03/2023 alle ore 22:00;
- **Estivo**, relativo al 25/07/2023 alle ore 10:00.

Nelle figure seguenti si riportano le planimetrie relative allo strato superficiale, a mezza colonna d'acqua e al fondo in corrispondenza dell'areale di interesse.

7.5.1 Condizione di circolazione media invernale

I risultati del modello HD cimentato sul periodo medio invernale evidenziano come i regimi della corrente siano caratterizzati da circolazione prevalente da est verso ovest, con locali fenomeni di ricircolo in prossimità dell'area di interesse dovuti alle variazioni morfologiche del fondale in corrispondenza delle isole. Tale comportamento, seppur attenuato in intensità, è riscontrabile su tutta la colonna d'acqua.

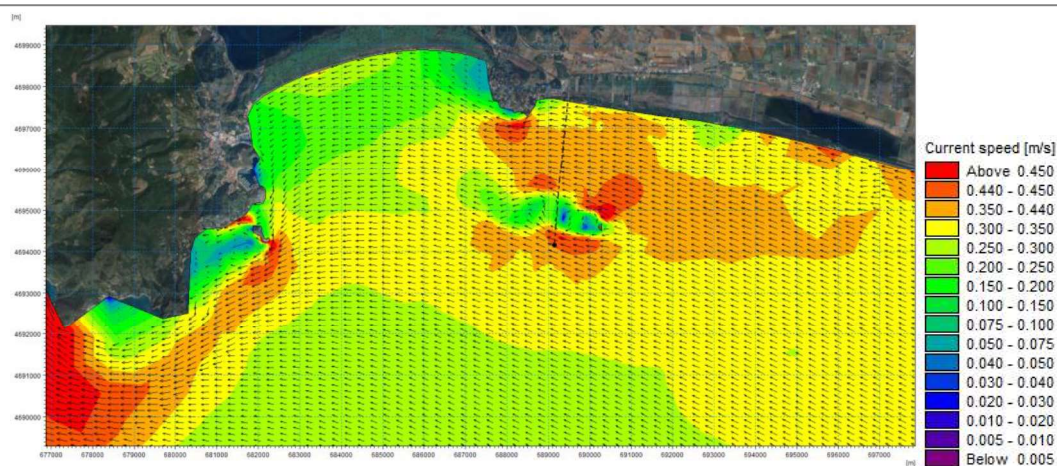


Figura 7.10 – Distribuzione delle correnti per la condizione d'onda invernale nell'istante di massima intensità (02 marzo 2023, ore 22.00) - layer di superficie

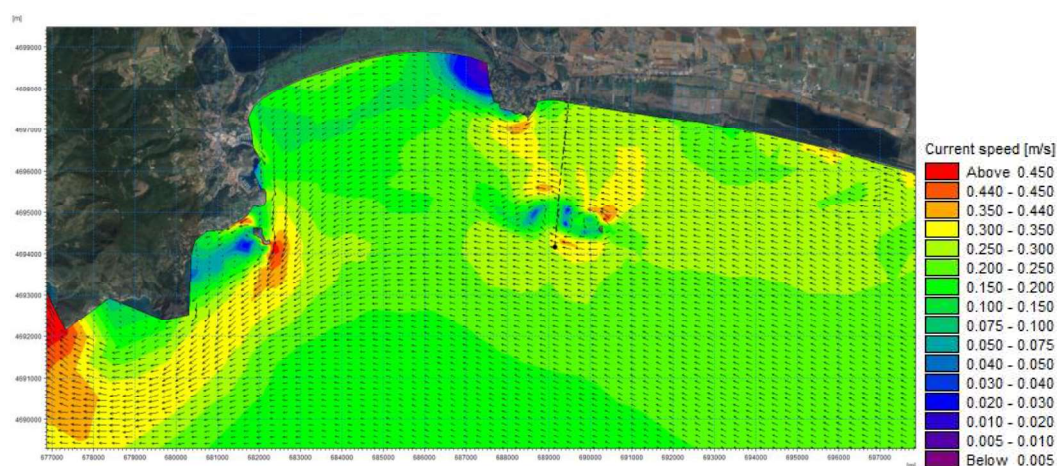


Figura 7.11 – Distribuzione delle correnti per la condizione d'onda invernale nell'istante di massima intensità (02 marzo 2023, ore 22.00) - layer medio

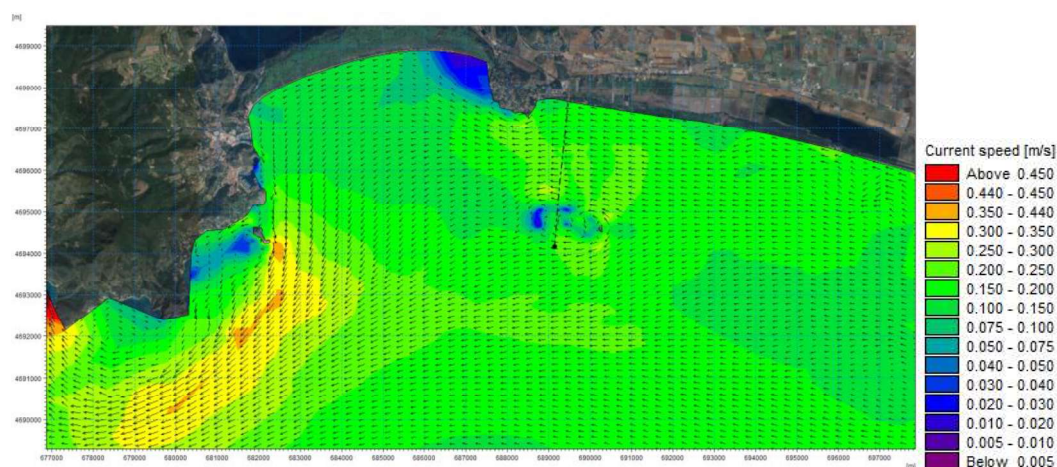


Figura 7.12 – Distribuzione delle correnti per la condizione d'onda invernale nell'istante di massima intensità (02 marzo 2023, ore 22.00) - layer di fondo

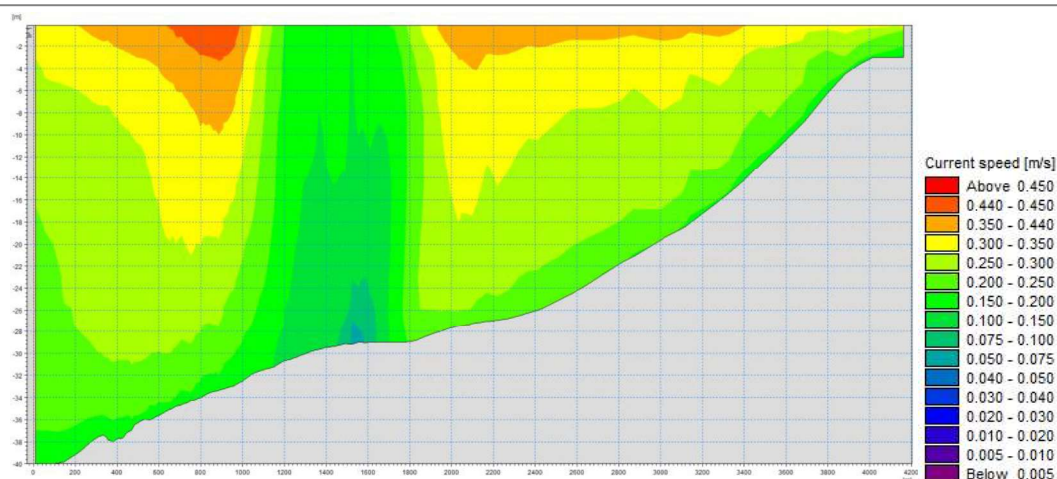


Figura 7.13 – Profilo verticale della distribuzione delle correnti in corrispondenza della condotta e del punto di scarico per la condizione d'onda invernale nell'istante di massima intensità (02 marzo 2023, ore 22.00)

La **distribuzione delle temperature** risulta molto contenuta con valori molto simili tra strati superficiali e fondale.

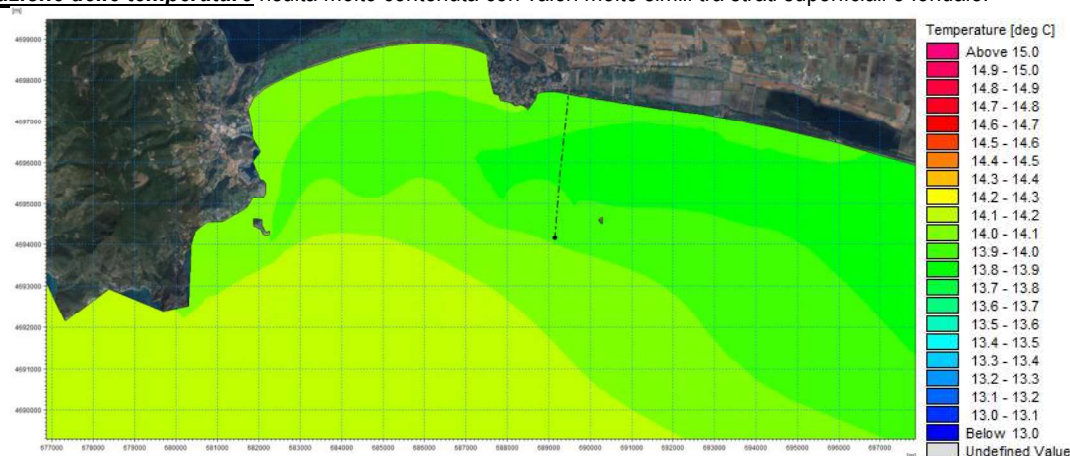


Figura 7.14 – Distribuzione delle temperature per la condizione d'onda invernale nell'istante di massima intensità (02 marzo 2023, ore 22.00) - layer di superficie

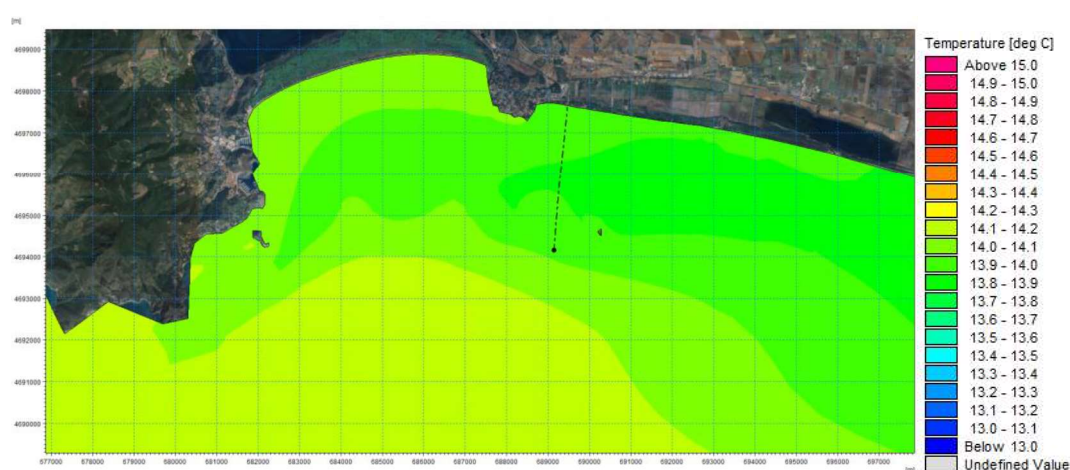


Figura 7.15 – Distribuzione delle temperature per la condizione d'onda invernale nell'istante di massima intensità (02 marzo 2023, ore 22.00) - layer medio

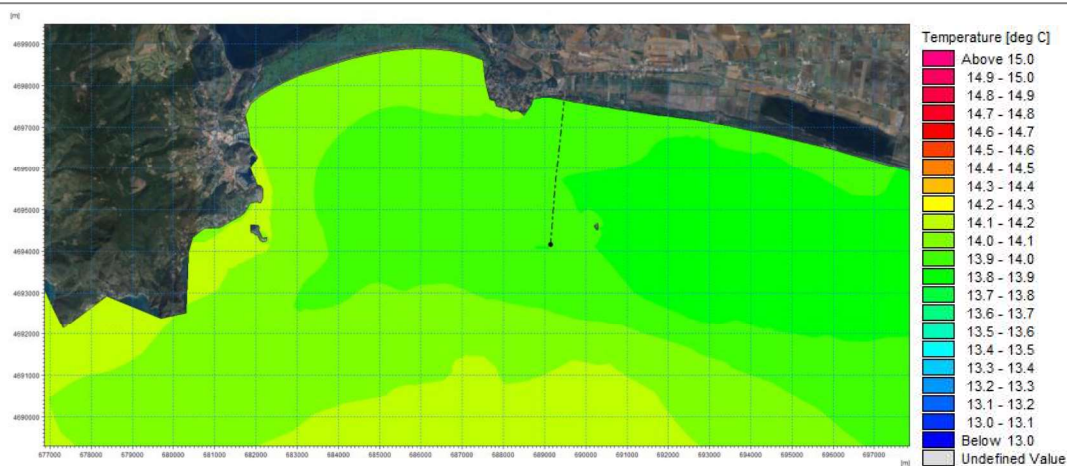


Figura 7.16 – Distribuzione delle temperature per la condizione d'onda invernale nell'istante di massima intensità (02 marzo 2023, ore 22.00) - layer di fondo

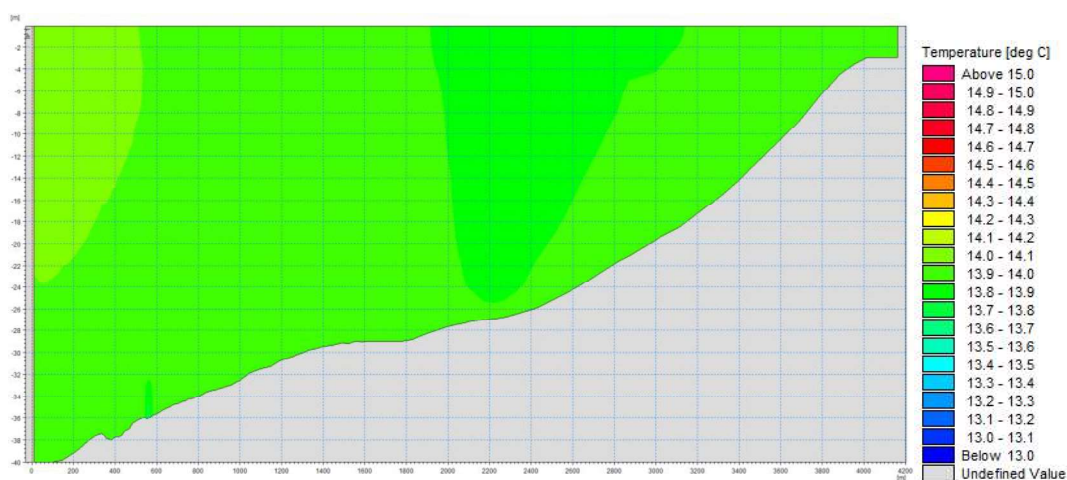


Figura 7.17 – Profilo verticale della distribuzione delle temperature in corrispondenza della condotta e del punto di scarico per la condizione d'onda invernale nell'istante di massima intensità (02 marzo 2023, ore 22.00)

La **distribuzione della salinità** evidenzia valori più alti all'interno del golfo della Feniglia e un gradiente contenuto sulla colonna d'acqua in corrispondenza dell'area di interesse.

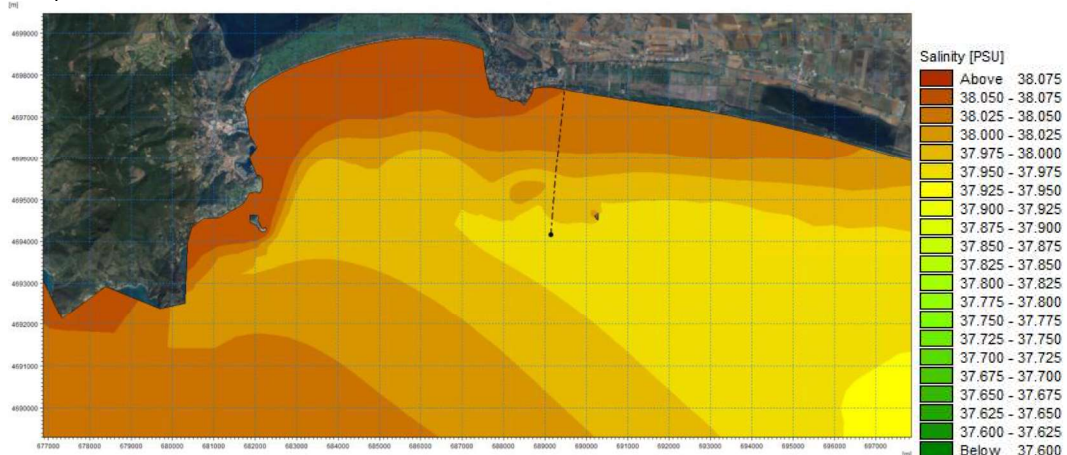


Figura 7.18 – Distribuzione della salinità per la condizione d'onda invernale nell'istante di massima intensità (02 marzo 2023, ore 22.00) - layer di superficie

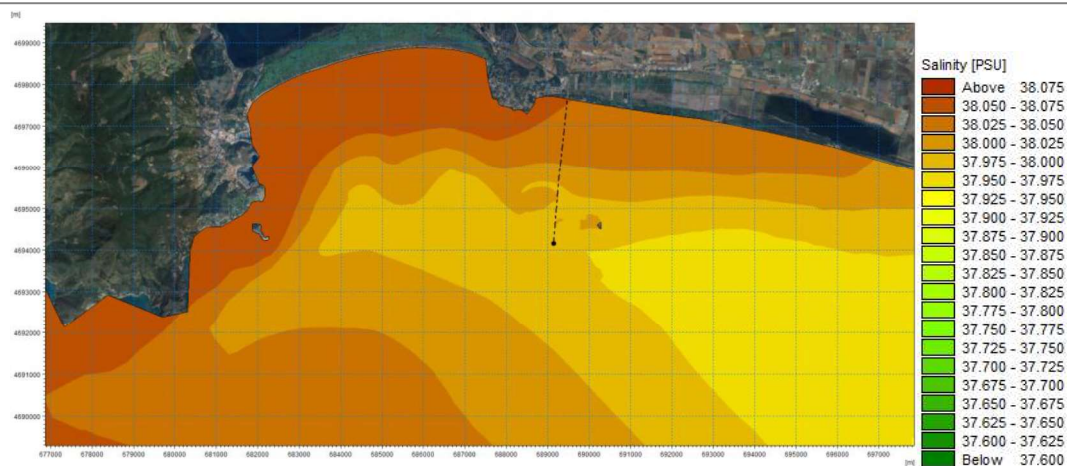


Figura 7.19 – Distribuzione della salinità per la condizione d'onda invernale nell'istante di massima intensità (02 marzo 2023, ore 22.00) - layer medio

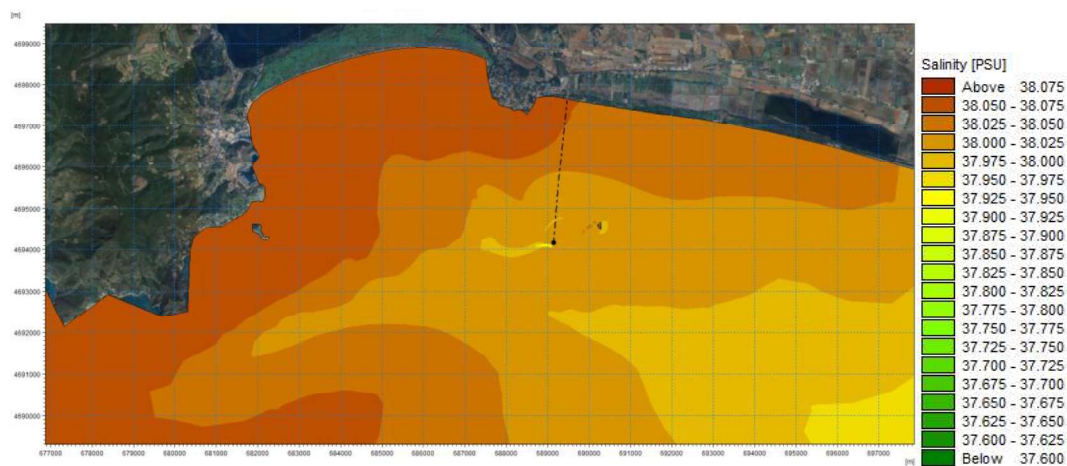


Figura 7.20 – Distribuzione della salinità per la condizione d'onda invernale nell'istante di massima intensità (02 marzo 2023, ore 22.00) - layer di fondo

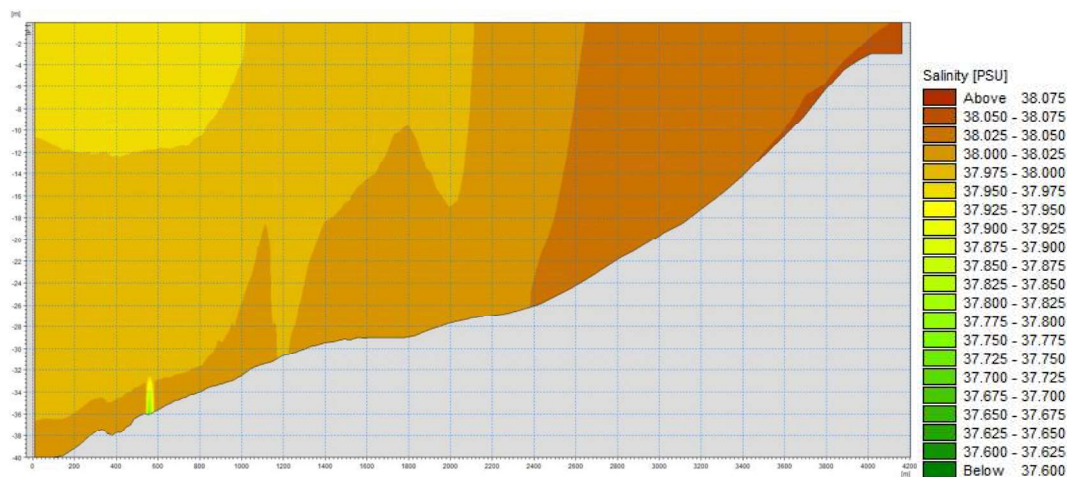


Figura 7.21 – Profilo verticale della distribuzione della salinità in corrispondenza della condotta e del punto di scarico per la condizione d'onda invernale nell'istante di massima intensità (02 marzo 2023, ore 22.00)

7.5.2 Condizione di circolazione media estiva

I risultati del modello HD cimentato sul periodo medio estivo evidenziano regimi della corrente caratterizzati da velocità leggermente inferiori rispetto al periodo invernale, confermando il trend di circolazione da est ad ovest sia negli strati più superficiali che profondi. Sono confermati anche i fenomeni vorticosi in prossimità dello scarico dovuti alla presenza dell'Isola Giulia.

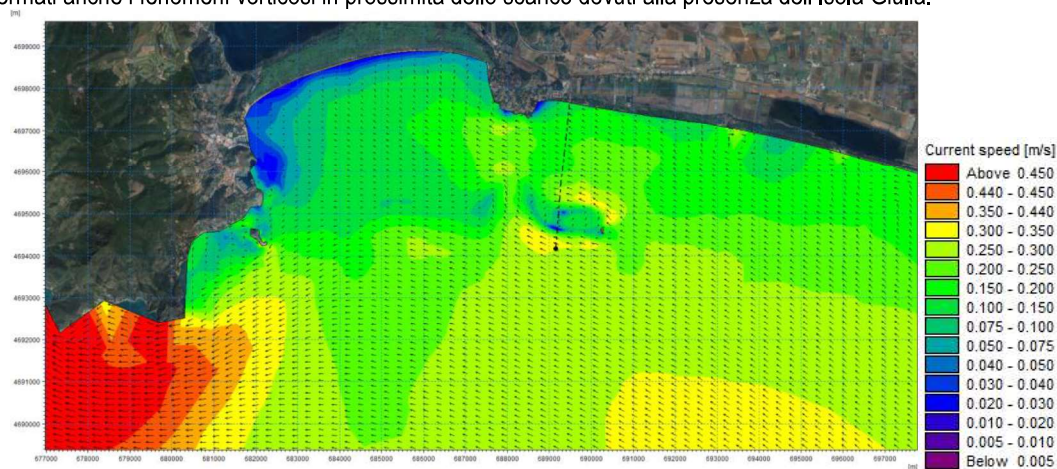


Figura 7.22 – Distribuzione delle correnti per la condizione d'onda invernale nell'istante di massima intensità (25 luglio 2023, ore 10.00) - layer di superficie

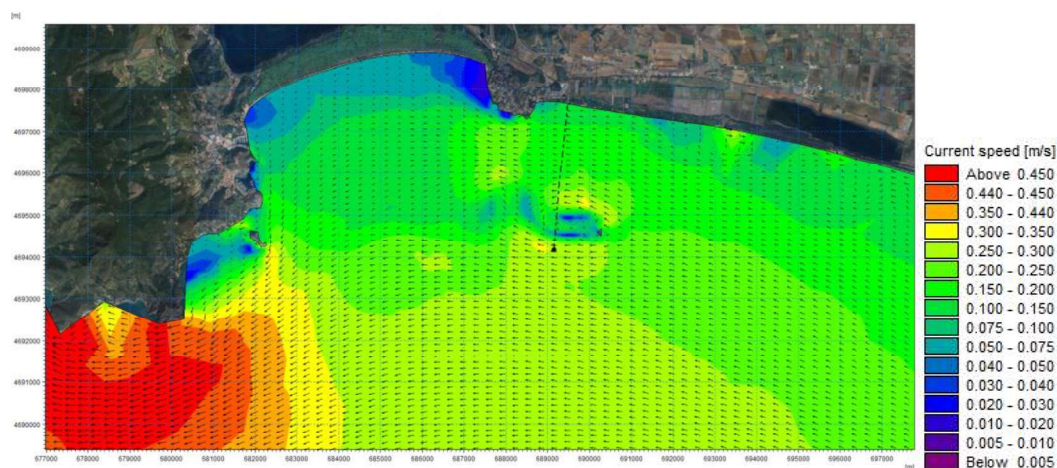


Figura 7.23 – Distribuzione delle correnti per la condizione d'onda estiva nell'istante di massima intensità (25 luglio 2023, ore 10.00) - layer medio

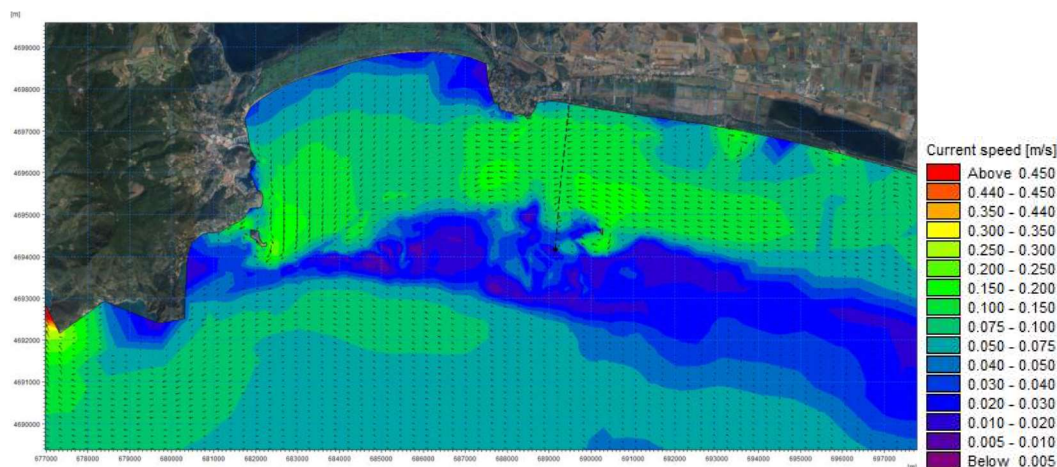


Figura 7.24 – Distribuzione delle correnti per la condizione d'onda estiva nell'istante di massima intensità (25 luglio 2023, ore 10.00) - layer di fondo

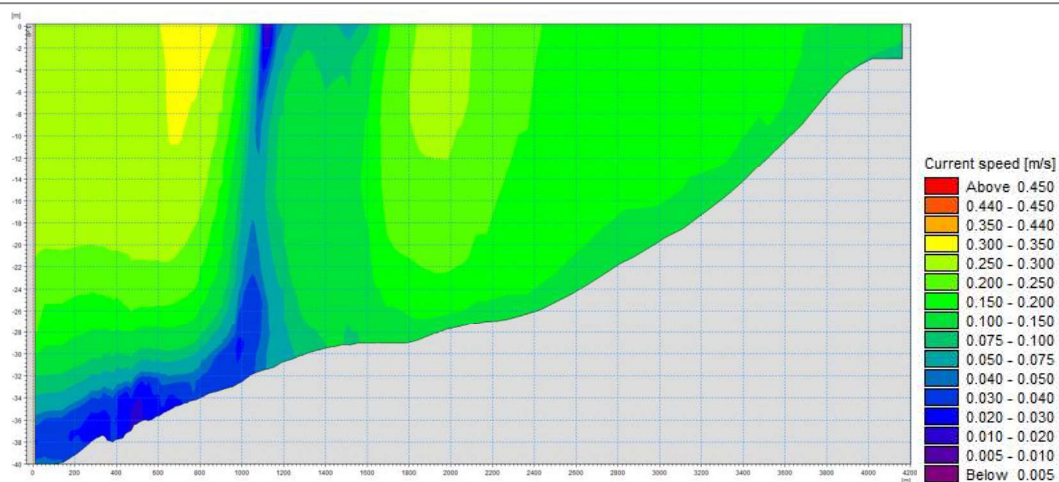


Figura 7.25 – Profilo verticale della distribuzione delle correnti in corrispondenza della condotta e del punto di scarico per la condizione d'onda estiva nell'istante di massima intensità (25 luglio 2023, ore 10.00)

Si registrano ampi **gradienti di temperatura** tra gli strati superficiali e il fondale.

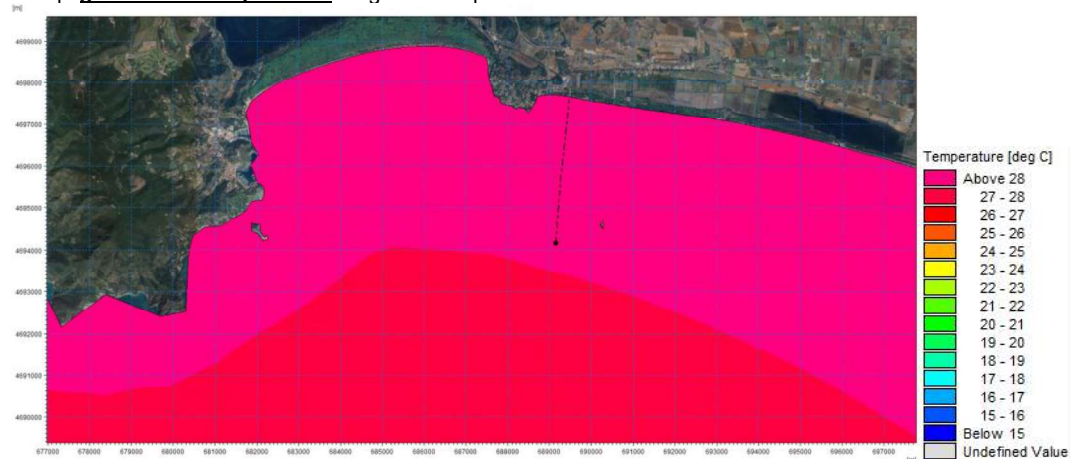


Figura 7.26 – Distribuzione delle temperature per la condizione d'onda estiva nell'istante di massima intensità (25 luglio 2023, ore 10.00)- layer di superficie

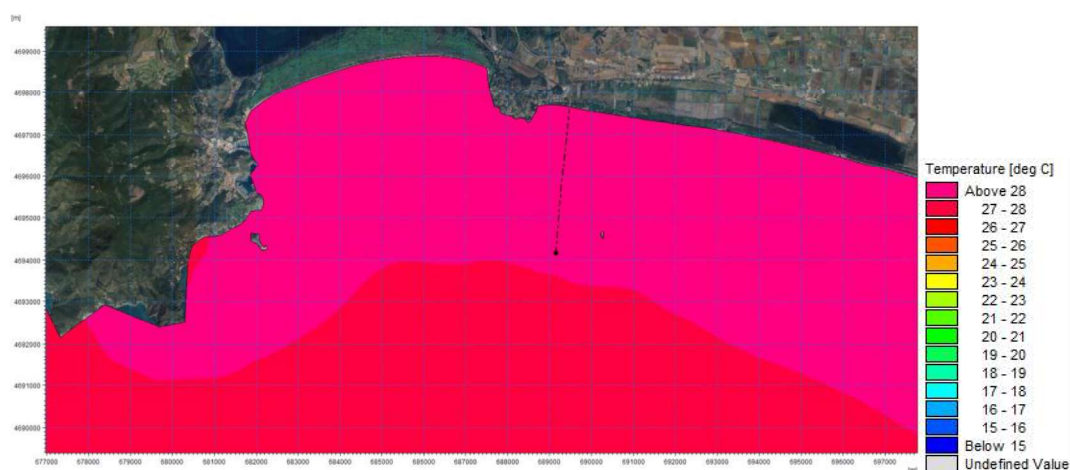


Figura 7.27 – Distribuzione delle temperature per la condizione d'onda estiva nell'istante di massima intensità (25 luglio 2023, ore 10.00)- Layer medio

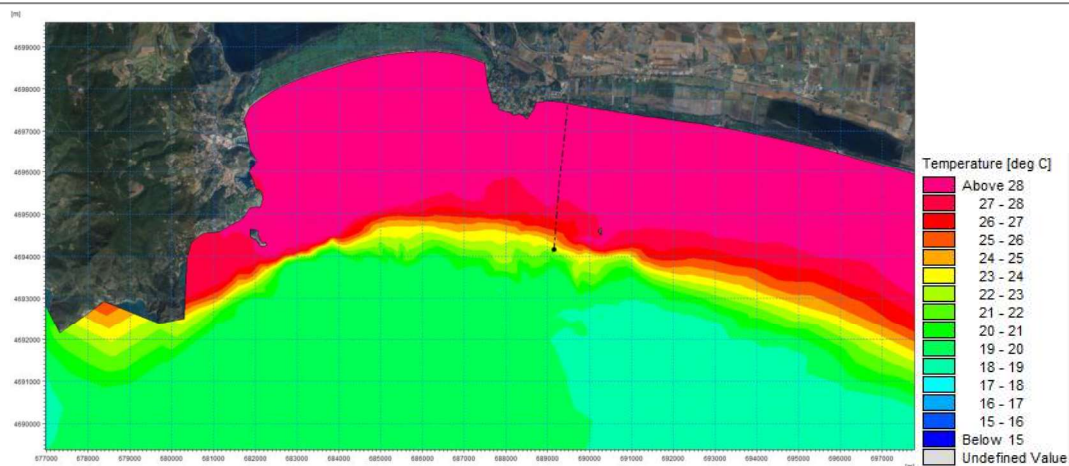


Figura 7.28 – Distribuzione delle temperature per la condizione d'onda estiva nell'istante di massima intensità (25 luglio 2023, ore 10.00) - Layer di fondo

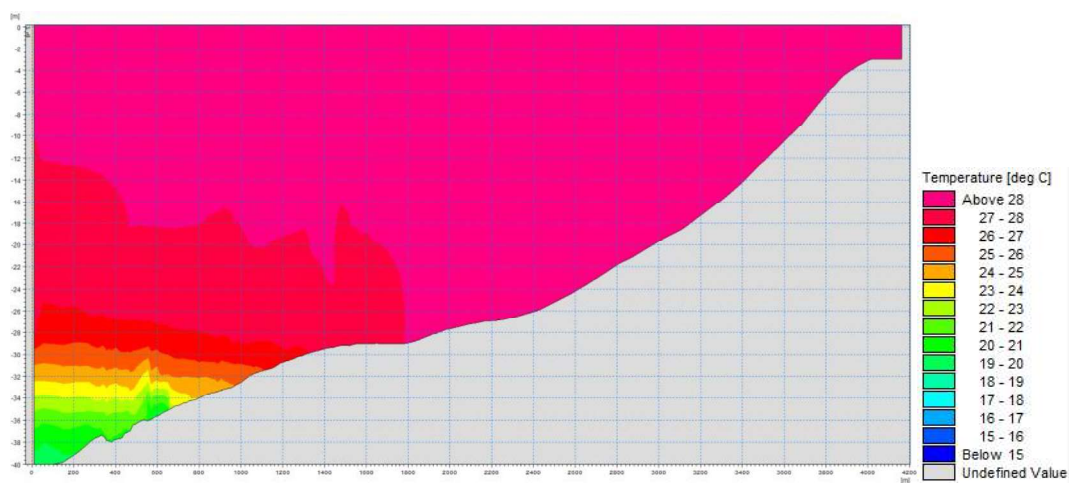


Figura 7.29 – Profilo verticale della distribuzione delle temperature in corrispondenza della condotta e del punto di scarico per la condizione d'onda estiva nell'istante di massima intensità (25 luglio 2023, ore 10.00)

La **distribuzione della salinità** evidenzia valori molto simili lungo la colonna d'acqua, ma in un range superiore rispetto al periodo invernale.

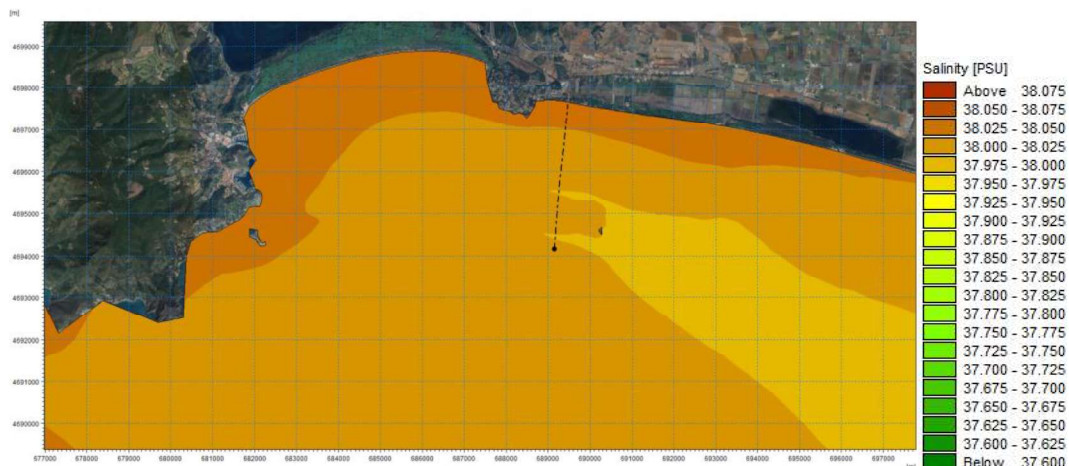


Figura 7.30 – Distribuzione della salinità per la condizione d'onda estiva nell'istante di massima intensità (25 luglio 2023, ore 10.00) - layer di superficie

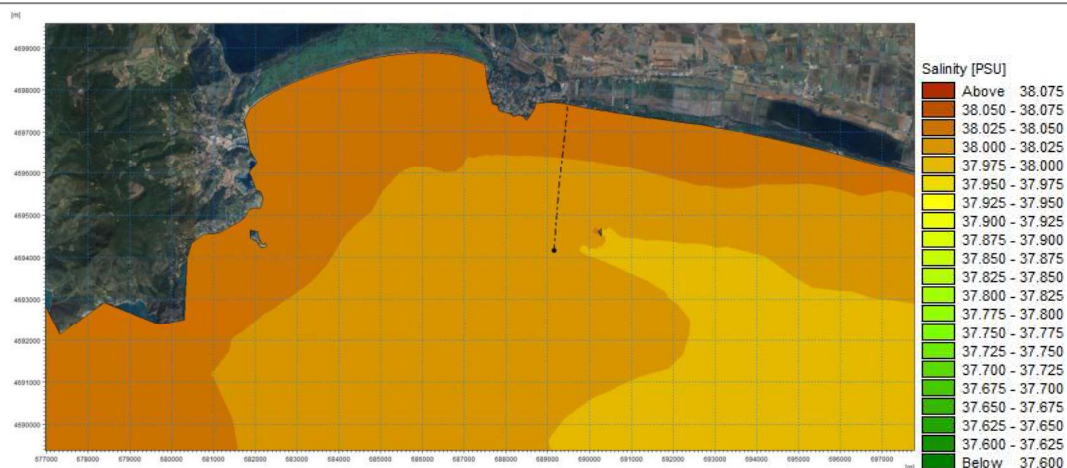


Figura 7.31 – Distribuzione della salinità per la condizione d'onda estiva nell'istante di massima intensità (25 luglio 2023, ore 10.00) - layer medio

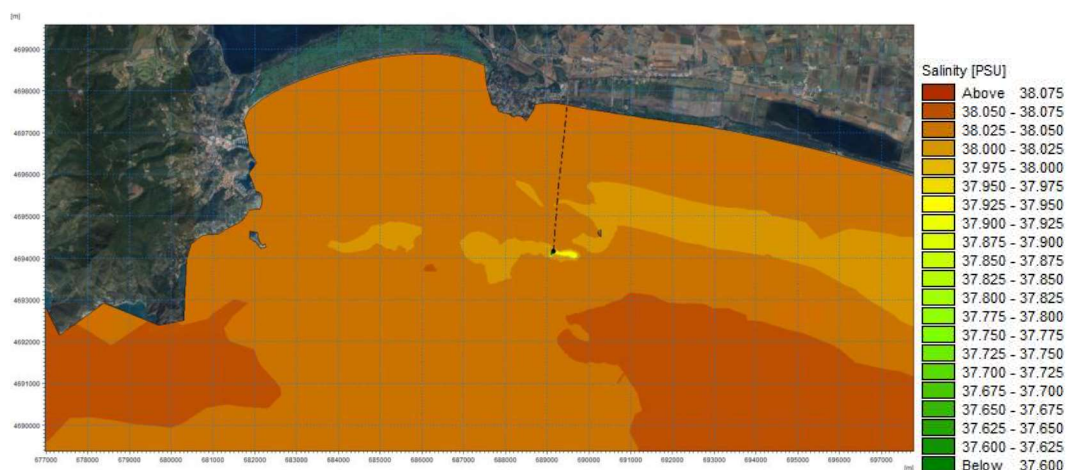


Figura 7.32 – Distribuzione della salinità per la condizione d'onda estiva nell'istante di massima intensità (25 luglio 2023, ore 10.00)- layer di fondo

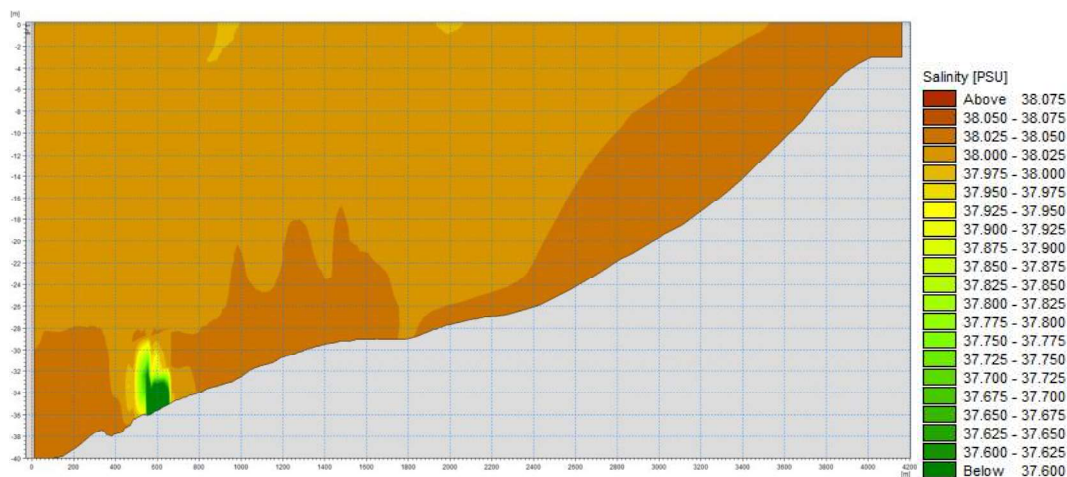


Figura 7.33 – Profilo verticale della distribuzione della salinità in corrispondenza della condotta e del punto di scarico per la condizione d'onda estiva nell'istante di massima intensità (25 luglio 2023, ore 10.00)

8. MODELLO DI TRASPORTO DEGLI INQUINANTI

Al fine di modellare le dinamiche di trasporto degli inquinanti si è fatto ricorso al modulo Advection-Dispersion (AD) reso disponibile assieme al pacchetto di software del modello tridimensionale MIKE 21/3 FM di DHI. Il modulo simula il trasporto, dispersione e decadimento di sostanze disciolte o sospese in acqua. Può essere utilizzato per studi di dispersione di soluti non reagenti o caratterizzati da decadimento lineare od eccesso di temperatura o salinità.

Il modulo di Avvezione e Dispersione risolve l'omonima equazione per le sostanze disciolte o in sospensione che, di fatto è una equazione di conservazione di massa, di seguito riportata:

$$\frac{\partial}{\partial t}(hc) + \frac{\partial}{\partial x}(uhc) + \frac{\partial}{\partial y}(vhc) + \frac{\partial}{\partial z}(whc) = \frac{\partial}{\partial x}\left(h \cdot D_x \cdot \frac{\partial c}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(h \cdot D_y \cdot \frac{\partial c}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(h \cdot D_z \cdot \frac{\partial c}{\partial z}\right) - F \cdot h \cdot c + S$$

in cui:

- c è la concentrazione dell'aggregato;
- u, v sono le componenti orizzontali della velocità nelle direzioni x e y [m/s];
- w è la componente verticale della velocità nella direzione z ;
- h è il tirante idraulico;
- D_x, D_y, D_z sono i coefficienti di dispersione nelle direzioni x, y, z , [m²/s];
- F è il coefficiente lineare di decadimento [1/s];
- $S = Q_s \cdot (c_s - c)$
- Q_s è la portata dall'origine [m³/s/m²];
- c_s è la concentrazione dell'aggregato nella portata dell'origine.

Tra queste variabili, le informazioni relative alle componenti di velocità e di ampiezza del tirante idraulico derivano dalla modellazione idrodinamica tridimensionale implementata con MIKE 21/3, per la cui descrizione si rimanda al capitolo precedente.

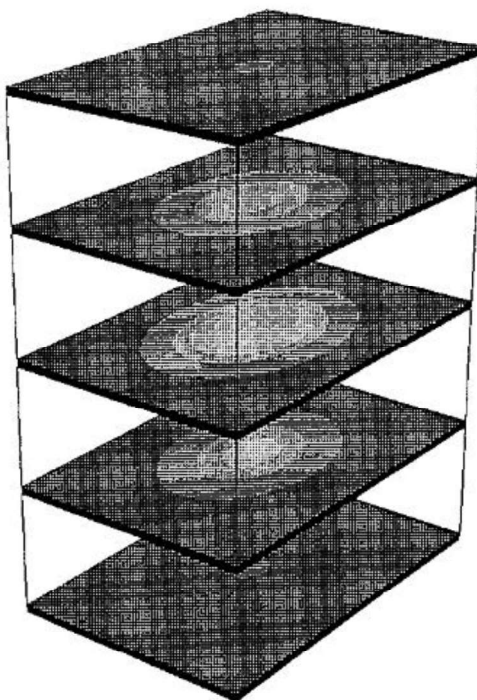


Figura 8.1 – Schema di modellazione avvezione-dispersione

8.1 DOMINIO DI CALCOLO

Il dominio di calcolo del modello AD (*Adversion – Dispersion*) riprende il dominio e le risoluzioni spaziale e verticale adottate per il modello idrodinamico (HD). Si rimanda dunque al precedente capitolo per la relativa descrizione.

8.2 CARATTERISTICHE DEL REFLUO E LIMITI NORMATIVI

Nel modello sulla qualità delle acque implementato nel presente studio e qui descritto si fa riferimento allo scarico dell'impianto di depurazione consortile delle acque reflue depurate di Terrarossa, posto a circa 3.6 [km] a largo dell'abitato di Ansedonia.

Si riportano di seguito, in corrispondenza della maggior parte dei parametri indicatori, i valori limite e le concentrazioni di soglia previsti dalla pluralità di normative del settore o, altresì, valori di riferimento. Non tutti i parametri indicatori hanno un riferimento normativo corrispondente alle acque di mare. Nella Tabella 8.1³ di seguito è, dunque, indicato il riferimento normativo più affine per avere un elemento di paragone.

I parametri appartenenti alla categoria "solventi" trovano quasi tutti un riferimento normativo nel D.M. 260/2010 che fissa standard di qualità per classificare le acque marino costiere e valutarne lo stato ambientale.

PARAMETRO	unità di misura	Limite / riferimento	Fonte Valori di riferimento
PARAMETRI CHIM.-FIS. BASE			
pH	UpH	6-9*	DPR 470/82 (Decreto balneazione abrogato)
Ossigeno disciolto	mg/L		
Ossigeno disciolto	% sat	70-120*	DPR 470/82 (Decreto balneazione abrogato)
Cloro attivo	mg/L	0,2	D.lgs 152/06 parte III Scarichi (in corpo idrico superficiale)
solfori	mg/L	1	D.lgs 152/06 parte III Scarichi (in corpo idrico superficiale)
trasparenza	m	1,0	DPR 470/82 (Decreto balneazione abrogato)
SOSTANZA ORGANICA E NUTRIENTI			
Total Organic Carbon (TOC)	mg/L		
ammonio	mg/L	min 0,010 - max 0,066	valori di riferimento calcolati sull'ultimo biennio di misure effettuate presso le stazioni di monitoraggio più vicine al Giglio
azoto totale	mg/L	min 0,010 - max 0,245	
Fosforo totale	mg/L	min 0,003 - max 0,046	
SOLVENTI			
Benzene	µg/L	8 (MA) 50 (CMA)	D.M. 260/2010 Standard di qualità acque marino costiere
Toluene	µg/L	1 (MA)	D.M. 260/2010 Standard di qualità acque marino costiere
Etilbenzene	µg/L	50	D.lgs. 152/06 parte IV (Acque sotterranee bonifiche)
M-p-xilene	µg/L	1 (MA)	D.M. 260/2010 Standard di qualità acque marino costiere
o-xilene	µg/L	1 (MA)	D.M. 260/2010 Standard di qualità acque marino costiere
clorobenzene	µg/L	0,3 (MA)	D.M. 260/2010 Standard di qualità acque marino costiere
1,1,1 tricloroetano	µg/L	2 (MA)	D.M. 260/2010 Standard di qualità acque marino costiere
1,2 dicloroetano	µg/L	10 (MA)	D.M. 260/2010 Standard di qualità acque marino costiere
Cloruro di metilene	µg/L	20	D.M. 260/2010 Standard di qualità acque marino costiere
Tetracloroetilene	µg/L	10 (MA)	D.M. 260/2010 Standard di qualità acque marino costiere
Tricloroetilene	µg/L	10 (MA)	D.M. 260/2010 Standard di qualità acque marino costiere
Triclorometano	µg/L	2,5 (MA)	D.M. 260/2010 Standard di qualità acque marino costiere
1,2 -dicloropropano	µg/L		
Cloruro di vinile	µg/L	1 (MA)	D.M. 260/2010 Standard di qualità acque marino costiere
DETERGENTI			
Tensioattivi cationici	mg/L	0,50	DPR 470/82 (Decreto balneazione abrogato) ***
Tensioattivi anionici	mg/L		
Tensioattivi anionici	mg/L	0,50	D.lgs 152/06 parte III (acque dolci sup. destinate al consumo umano)
IDROCARBURI			
Idrocarburi C6 -C10	µg/L		
Idrocarburi C >10-C40	µg/L	500	DPR 470/82 (Decreto balneazione abrogato)
Idrocarburi C >10-C40	µg/L	500(G) 1000 (I)	D.lgs 152/06 parte III (acque dolci sup. destinate al consumo umano)
IPA	µg/L	0,002 - 1,2** (MA)	D.M. 260/2010 Standard di qualità acque marino costiere
TEST TOSSICITÀ			
test con <i>V. fischeri</i>			
PARAMETRI MICROBIOLOGICI			
coliformi totali	MPN/100ml	2000	Balneazione DPR 470/82 (abrogato)
escherichia coli	MPN/100ml	500	D.M. 30/03/10 (Decreto Acque di Balneazione vigente)
enterococchi intestinali	UFC/100ml	200	D.M. 30/03/10 (Decreto Acque di Balneazione vigente)
* - Intervallo di accettabilità			
** - Intervallo limiti di vari composti IPA			
MA - media annuale			
CMA - concentrazione massima ammissibile			
G - valore guida			
I - valore imperativo			

Tabella 8.1 - valori limite e le concentrazioni di soglia previsti da normative di settore

³ <https://www.arpas.toscana.it/temi-ambientali/acqua/naufregio-nave-costa-concordia/dati-monitoraggio/limiti-di-riferimento>

Il decreto D.P.R. 470/82 fissava dei valori limite nelle acque destinate alla balneazione per alcune sostanze come i tensioattivi e gli idrocarburi. Seppure abrogato, può tuttavia costituire un utile riferimento.

Il decreto balneazione oggi vigente (DM 30/03/10) prevede valori limite solo per alcuni parametri batteriologici.

Per i nutrienti, che non hanno valori limite cogenti, sono stati riportati come riferimento i valori minimi e massimi registrati nell'ultimo biennio presso le stazioni appartenenti alla rete di monitoraggio regionale delle acque marino costiere più vicine all'Isola del Giglio.

Per i parametri idrocarburi e tensioattivi sono riportati anche i valori soglia meno restrittivi per classificare le acque dolci superficiali destinate alla produzione di acqua potabile (D. Lgs. 152/2006 parte III).

8.3 CONDIZIONI AL CONTORNO E INIZIALI DEL MODELLO

Il modello AD riprende dominio, risoluzione spaziale e verticale e forzanti direttamente dal modello idrodinamico HD. Ai fini della simulazione dinamica della dispersione del pennacchio è stato inserito nel Modello AD l'andamento temporale di concentrazione di un tracciante effluente, ipotizzata costante per tutta la durata della simulazione e pari al 100% della portata attesa allo scarico. Il modello, dunque, ha simulato la dinamica di dispersione dell'effluente in occasione delle due condizioni di circolazione di riferimento, invernale ed estiva, descritte nel precedente Capitolo §6.

8.4 ANALISI DEI RISULTATI

Ai fini della lettura dei risultati del modello AD sono state elaborate delle mappe degli inviluppi di concentrazione dell'effluente in corrispondenza di prefissati piani orizzontali (superficiale, intermedio e profondo). Lungo l'allineamento della condotta di scarico è stata inoltre restituita una sezione verticale con i massimi valori di concentrazione registrati.

Nei paragrafi seguenti si riportano in forma grafica i risultati ottenuti nelle varie simulazioni eseguite. Si osserva che, in tutti i piani, la concentrazione dell'indicatore di qualità "X" ipotizzato allo scarico di 100 [mg/l] è chiaramente massimo in corrispondenza del punto di scarico e, già nell'area campita in viola nelle figure di riferimento, risulta pari a 1 [mg/l] ovvero ridotta di un fattore 100.

Dall'analisi dei risultati si evince che nel periodo invernale il pennacchio risulta molto contenuto in ragione delle correnti idrodinamiche che, di fatto, diluiscono la concentrazione dell'effluente. Tale fenomeno di diluizione è meno evidente nello scenario estivo, in cui il pennacchio si propaga maggiormente rispetto alla condizione invernale seppur rimanendo anch'esso confinato al fondo e comunque interessando solo areali in prossimità dello scarico.

8.4.1 Condizione di circolazione media invernale

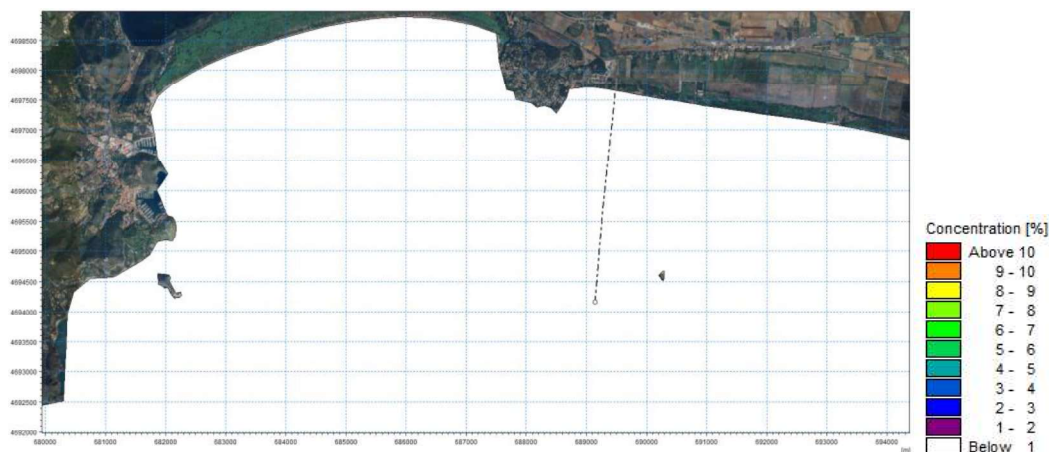


Figura 8.2 – Distribuzione del plume per la condizione di circolazione invernale - layer di superficie

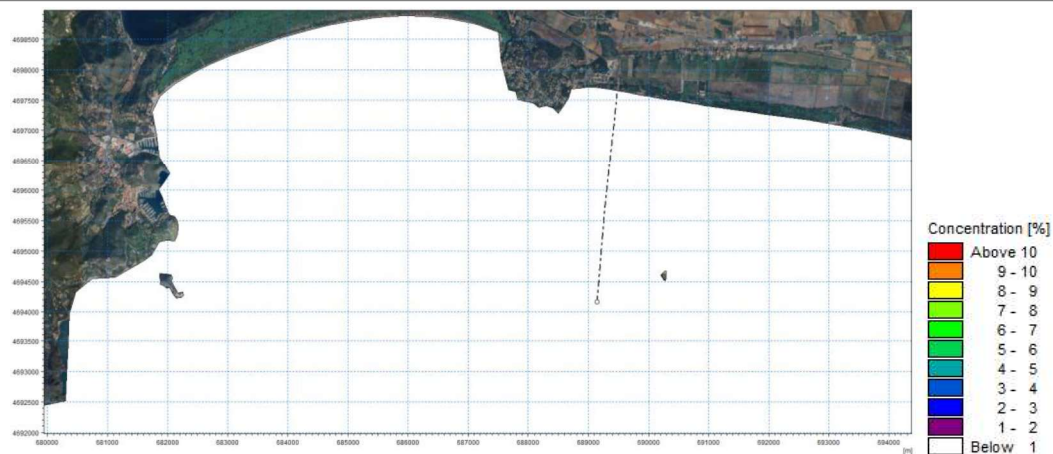


Figura 8.3 – Distribuzione del plume per la condizione di circolazione invernale - layer medio

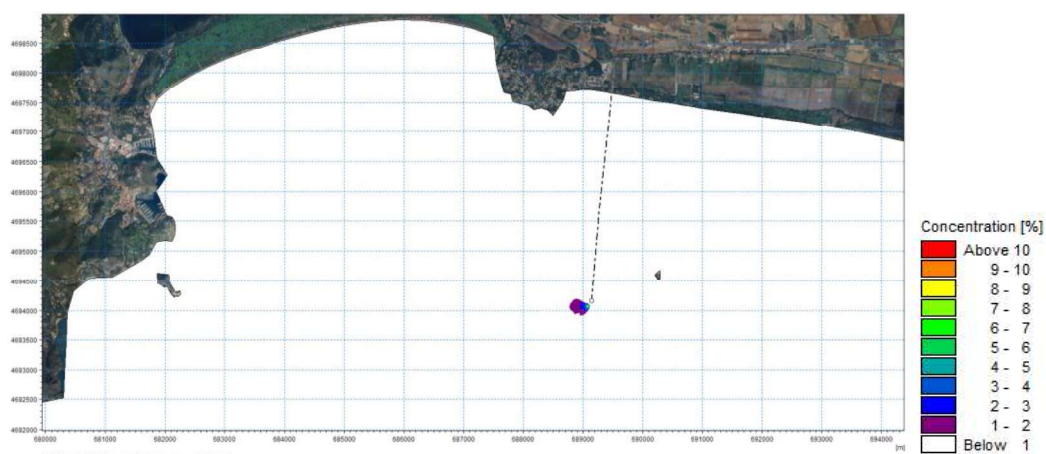


Figura 8.4 – Distribuzione del plume per la condizione di circolazione invernale - layer di fondo

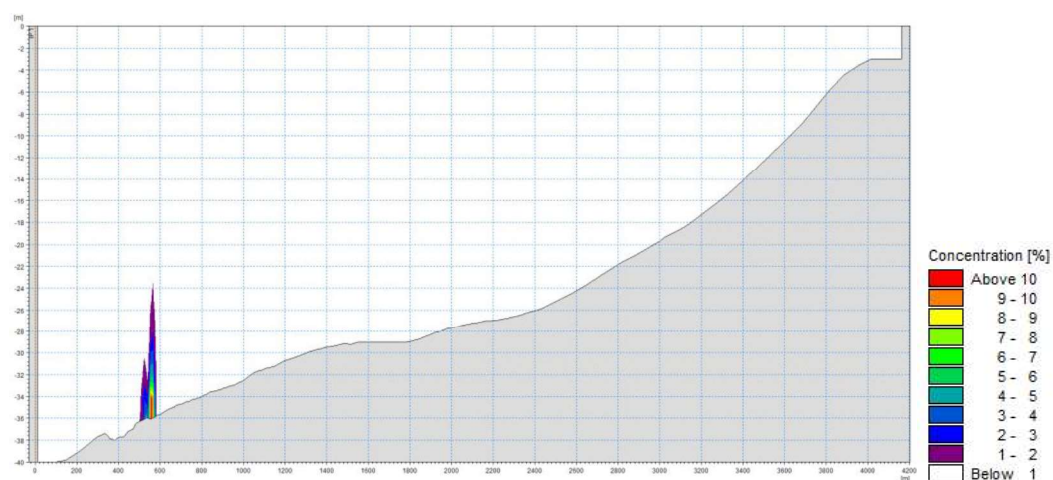


Figura 8.5 – Distribuzione verticale del plume in corrispondenza della condotta e del punto di scarico per la condizione di circolazione invernale

8.4.2 Condizione di circolazione media estiva

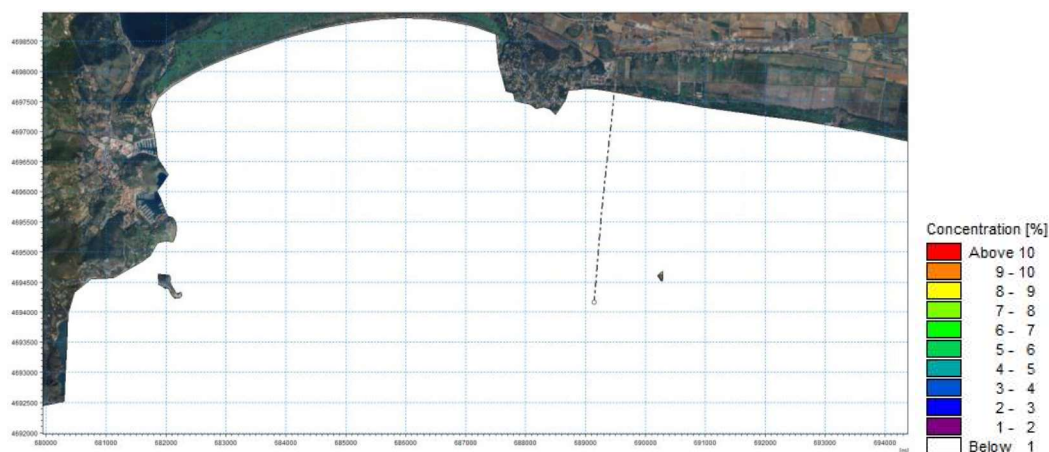


Figura 8.6 – Distribuzione del plume per la condizione di circolazione estiva - layer di superficie

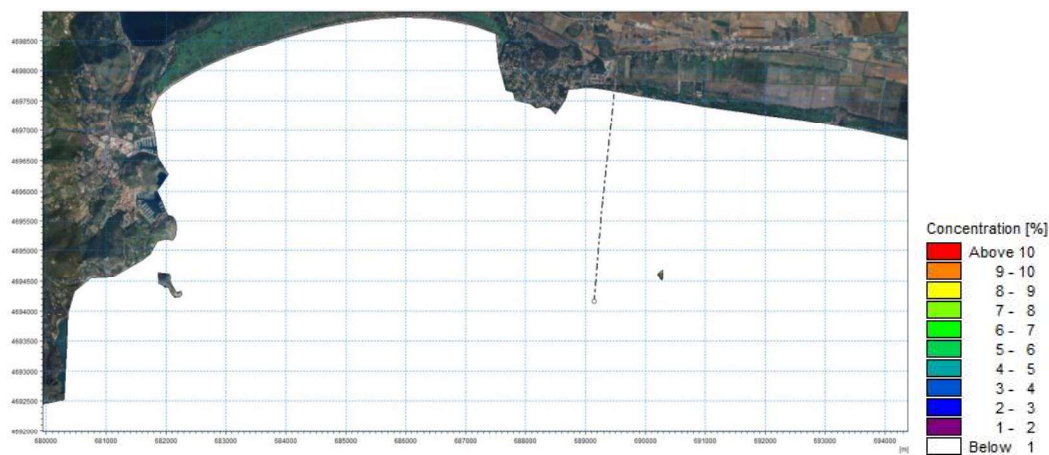


Figura 8.7 – Distribuzione del plume per la condizione di circolazione estiva - layer medio

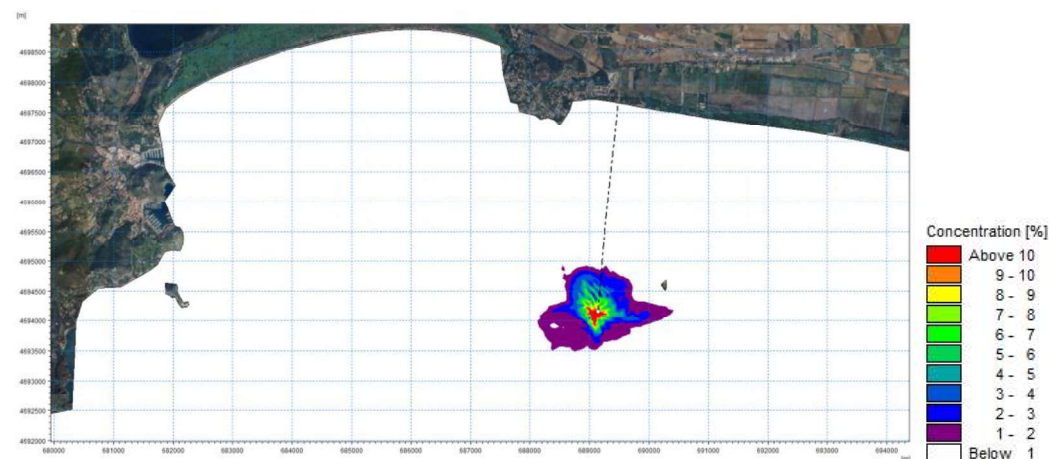


Figura 8.8 – Distribuzione del plume per la condizione di circolazione estiva - layer di fondo

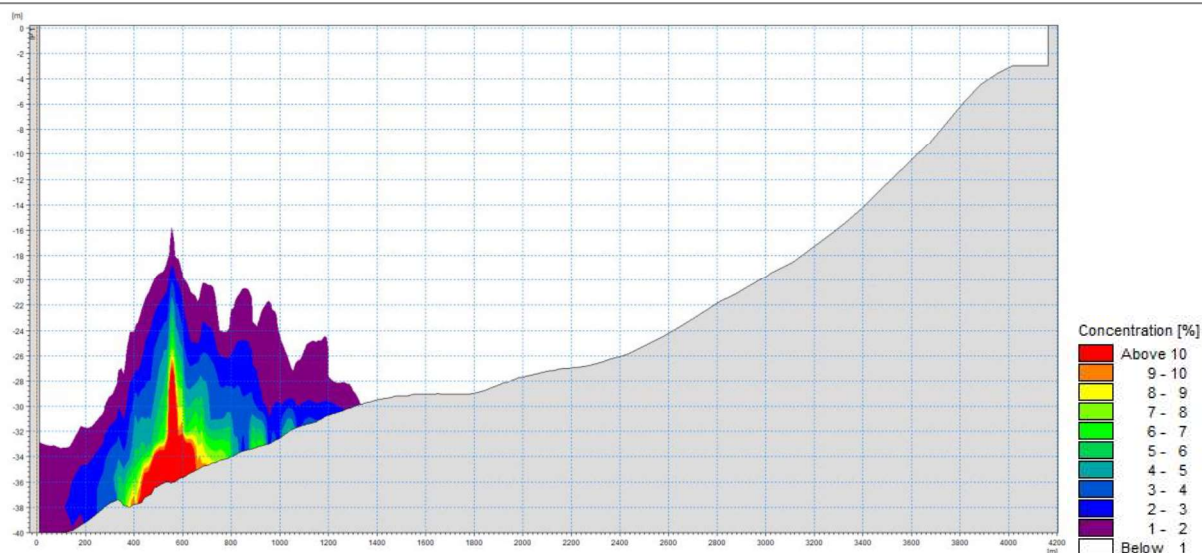


Figura 8.9 – Distribuzione verticale del plume in corrispondenza della condotta e del punto di scarico per la condizione di circolazione estiva

9. MODELLO IDROECOLOGICO E DI QUALITÀ DELLE ACQUE, TRASPORTO E DEGRADAZIONE BATTERICA

La modellistica idro-ecologica e di qualità delle acque descrive i processi chimici e biologici che avvengono nell'ambiente acquatico. Le sostanze chimiche e biologiche possono trasformarsi da una componente ad un'altra in seguito a degradazione o sintesi, quindi alterando la composizione e la distribuzione delle differenti tipologie di sostanze presenti nell'ambiente. Queste trasformazioni sono determinate da processi chimici e biologici che a loro volta sono influenzati da altri fattori quali la temperatura, la salinità, il pH, la luce, il trasporto e la dispersione.

Per l'analisi dei processi di trasformazione e decadimento di tutte le sostanze contaminanti in funzione delle condizioni idrodinamiche del sito, si è fatto ricorso al modulo MIKE ECO Lab reso disponibile assieme al pacchetto di software del modello tridimensionale MIKE 3 di DHI.

Il modello può descrivere disciolto sostanze, particolato di materiale morto o vivo, biologico vivente organismi e altri componenti (tutti indicati come variabili di stato in questo file contesto).

Il modulo è sviluppato per descrivere processi chimici, biologici, ecologici e interazioni tra sostanze disciolte, particolato di materiale vivo o morto, organismi biologici viventi e anche il processo fisico della sedimentazione di tali componenti.

MIKE ECO Lab è uno strumento modellistico, integrato nella piattaforma MIKE Zero, per la simulazione dei processi di "idro ecologia" e qualità delle acque. MIKE ECO Lab si configura quindi come modulo aggiuntivo a MIKE 11, MIKE 21, MIKE 3 e MIKE SHE, consentendo di simulare diverse tipologie di processi chimico-biologici e le interazioni tra le fenomenologie dell'idrodinamica. L'utente ha la possibilità di poter scrivere personalmente le equazioni del modello ecologico o di utilizzare equazioni già predefinite. Parallelamente al modello, vengono infatti forniti specifici templates, insiemi di equazioni e parametri per la simulazione dei più comuni processi qualitativi.

Le applicazioni tipiche di questo strumento sono:

- Simulazione dei processi qualitativi ed idro ecologici
- Valutazioni di Impatto Ambientale
- Studio del rischio ecologico
- Supporto al monitoraggio e previsione della qualità delle acque
- Gestione ed ottimizzazione di impianti di acquacoltura
- Supporto alla progettazione e verifica di opera di scarico
- Supporto ad interventi di dragaggio
- Gestione della qualità ambientale degli ecosistemi
- Supporto a sperimentazione e test in laboratorio

La modellistica "ecologica" è una disciplina relativamente giovane che impiega formulazioni matematiche per descrivere i processi chimici e biologici che avvengono nell'ambiente acquatico e che si differenzia fondamentalmente dalla modellistica idrodinamica in quanto le sostanze e gli elementi nel sistema considerato possono assumere forme differenti. Le sostanze chimiche e biologiche possono trasformarsi da una componente ad un'altra in seguito a degradazione o sintesi, quindi alterando la composizione e la distribuzione delle differenti tipologie di sostanze presenti nell'ambiente. Queste trasformazioni sono determinate da processi chimici e biologici che a loro volta sono influenzati da altri fattori quali la temperatura, la salinità, il pH, la luce, il trasporto e la dispersione.

Il modello complessivo consente di simulare, attraverso un approccio di tipo deterministico e quantitativo, con adeguato margine di incertezza, i processi di trasformazione e decadimento di tutte le sostanze contaminanti in funzione delle reali condizioni idrodinamiche del sito, del grado di compattazione dei fondali e dell'eventuale azione esterna dovuta ad un dragaggio o qualunque altro intervento antropico. La sostanza inquinante adsorbita ad una particolare frazione solida può tornare nella colonna d'acqua per via dell'azione della corrente sul sedimento, portando questo in sospensione ed in seguito al successivo distacco della sostanza dalla particella solida, così come per diffusione diretta dal fondale marino alla matrice acquosa. Risultato ultimo dell'analisi sono quindi le concentrazioni delle diverse componenti nei sedimenti e nella colonna d'acqua variabili nello spazio e nel tempo, da cui è possibile derivare il reale grado di rischio in funzione degli specifici habitat e dei relativi gradi di sensibilità rispetto alle sostanze stesse.

Le 4 tipologie di template disponibili sono:

- **WQ (Water Quality)**: per la simulazione dei principali parametri qualitativi quali BOD, DO, azoto, fosforo e batteri coliformi;
- **EU (Eutrophication process)**: - per i processi di eutrofizzazione, fitoplancton, zooplancton, vegetazione bentica e nutrienti in genere;
- **ME (Metal Transport)**: per i processi legati al trasporto di metalli pesanti, nelle matrici solida e colonna d'acqua;

- **XE (Xenobiotic process):** per i più complessi processi xeno biotici riguardanti, ad esempio, idrocarburi, ossidi, od altre sostanze che possano avere un impatto diretto sul biota.

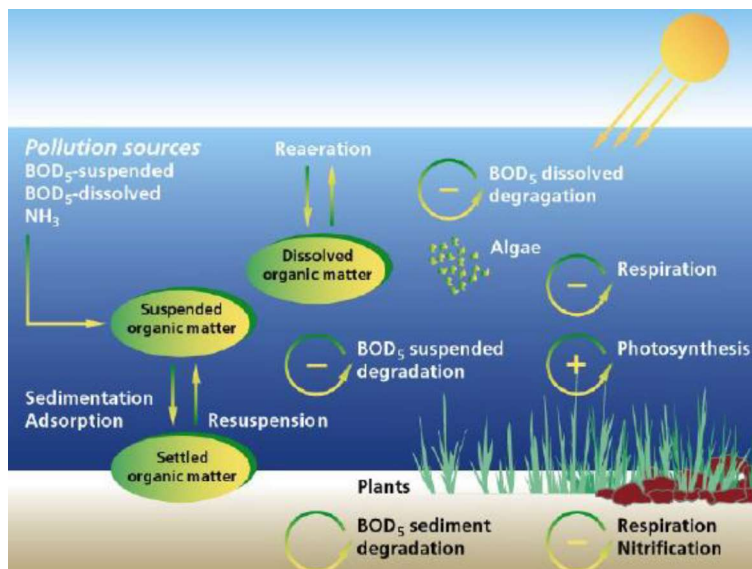


Figura 9.1 – Quadro sinottico dei processi simulati da EcoLab

In particolare, nell'ambito della presente analisi si è fatto riferimento al template *DHI E.coli and Enterococci*, che viene utilizzato per analizzare la qualità dell'acqua dal punto di vista igienico e, basandosi su forzanti di inquinanti, è utilizzato come strumento di valutazione della qualità dell'acqua. Tale modello può essere utilizzato per:

- fonti di inquinamento batterico come liquami domestici e industriali e deflussi agricoli;
- inquinamento batterico derivante da scarichi fognari, impianti di trattamento delle acque reflue, etc;
- valutare la soluzione economicamente vantaggiosa che migliora la qualità igienica dell'acqua.

9.1 MODELLAZIONE IDROECOLOGICA

Il modello è integrato con il modello di avvezione e dispersione, descritto al precedente capitolo, allo scopo di simulare simultaneamente processi di trasporto, dispersione e di degradazione biologica e biochimica.

Il template usato è il risultato di un sistema di due differenti equazioni che descrivono due diverse componenti, ovvero:

- E.coli
- Enterococchi.

Entrambi sono soggetti a decadimento ed il processo di decadimento descrive le variazioni delle due componenti sia nello spazio sia nel tempo in funzione di fattori esterni come la salinità, la temperatura, l'irradiazione solare e, non ultima, la portata della forzante e dunque della componente batterica ivi inclusa.

E. COLI:

La concentrazione degli E.coli dipende solo dal decadimento ed è, dunque, regolata dalla seguente relazione:

$$\frac{dE_{coli}}{dt} = -E_{coly} \text{ decay} = -K_{coli}$$

Il modello di decadimento adottato dal template è sviluppato da Jensen (190) ed in seguito adottato da Erichsen (2006). Questo consiste nel contributo al decadimento in condizione di buio e in condizione di luce, ovvero:

$$(K_m + K_L I_{avg}) E_{coli}$$

dove

- K_m è il contributo al decadimento in condizioni di buio
- K_L è il contributo al decadimento in condizioni di luce
- I_{avg} è la luce media disponibile nello strato considerato.

Il contributo al decadimento in condizioni di buio è regolato dalla seguente correlazione:

$$k_m = a_T T - k_{m0}$$

dove

- T è la temperatura dell'acqua
- a_T è una costante pari a $0.002425 [h^{-1} \text{ } ^\circ C^{-1}]$
- k_{m0} è una costante pari a $0.00826 [h^{-1}]$

Il contributo al decadimento in condizioni di luce è regolato dalla seguente correlazione:

$$K_L = \frac{S_m (b_T T + K_{L0})}{aS_m - (a - 1)S}$$

dove

- T è la temperatura dell'acqua
- S è la salinità dell'acqua
- S_m è un valore di riferimento della salinità, ovvero $34.5 [PSU]$
- A è una costante pari a 1.54
- b_T è una costante pari a $0.133 \cdot 10^{-3} [m^2 W^{-1} h^{-1} \text{ } ^\circ C^{-1}]$
- K_{L0} è una costante pari a $2.124 \cdot 10^{-3} [m^2 W^{-1} h^{-1}]$

Enterococchi:

La concentrazione degli enterococchi dipende solo dal decadimento, secondo la seguente correlazione:

$$\frac{dE_{nt}}{dt} = -\text{enterococchi decay} = -K_{ent}$$

Molta letteratura suggerisce che il decadimento degli enterococchi è più lento rispetto agli E.coli, nonostante le stime siano tuttora da ritenersi incerte.

Altresì, la letteratura suggerisce che il decadimento notturno degli Enterococchi sia pressoché nullo. Il software assume, conservativamente, che il decadimento degli enterococchi segua i seguenti tassi:

$$\begin{cases} \text{decadimento in condizioni di buio} = 0.5 * \text{decadimento in c.ni di buio E.coli} \\ \text{decadimento in condizioni di luce} = 0.5 * \text{decadimento in c.ni di luce E.coli} \end{cases}$$

Si rimanda altresì al manuale del software messo a disposizione da DHI per ulteriori approfondimenti.

9.2 DOMINIO DI CALCOLO

Il dominio di calcolo del modello ECO Lab riprende il dominio e la risoluzioni spaziale e verticale adottate per il modello idrodinamico HD. Si rimanda dunque al capitolo dedicato per la relativa descrizione.

9.3 CONDIZIONI AL CONTORNO E INIZIALI DEL MODELLO

Il modello ECO Lab riprende dominio, risoluzione spaziale e verticale e forzanti direttamente dal modello idrodinamico HD.

Ai fini della simulazione dinamica di decadimento e dispersione della componente batterica in uscita dallo scarico è stato inserito nel modello AD l'andamento temporale di concentrazione del parametro Escherichia Coli espresso in [UFC/100ml]. A tal fine sono stati ipotizzati 2 scenari:

- **CONDIZIONE DI SCARICO ORDINARIO:** E. Coli con valori di concentrazione allo scarico pari al massimo ammissibile a valle dei processi di depurazione presso l'impianto di Terrarossa (concentrazione assentita da titolo autorizzativo), ovvero $5000 [UFC/100ml]$ nel periodo estivo (da 01/04 al 30/09) e $50000 [UFC/100ml]$ nel periodo invernale (da 01/10 al 31/03);
- **CONDIZIONE DI SCARICO IN EMERGENZA:** E. Coli con valori di concentrazione allo scarico pari ai valori tipici attesi in ingresso all'impianto di Terrarossa (sulla base di pregresse analisi chimiche di campionamento), ovvero in condizioni di impianto di depurazione non funzionante, pari $290.000 [UFC/100ml]$.

Ai fini del calcolo sono state inoltre inserite le condizioni di irradiazione solare superficiale ricavate dal portale MetOcean §5.2, come descritto nel paragrafo dedicato. Il modello ha simulato la dinamica di degradazione e dispersione dell'effluente in occasione delle due condizioni di circolazione di riferimento, invernale ed estiva.

9.4 ANALISI DEI RISULTATI

Ai fini della lettura dei risultati del modello ECO Lab sono state elaborate delle mappe degli inviluppi di concentrazione del parametro E. Coli in corrispondenza di prefissati piani verticali (superficiale, intermedio e profondo).

Lungo l'allineamento della condotta di scarico e lungo la direzione di massima propagazione sono state inoltre restituite le sezioni verticali con i massimi valori di concentrazione registrati.

Nei paragrafi seguenti si riportano in forma grafica i risultati ottenuti nelle varie simulazioni eseguite. Si osserva che la concentrazione del parametro E. Coli è chiaramente massimo in corrispondenza del punto di scarico e supera i valori limite di balneabilità (500 [UFC/100ml] come da DM 30/03/10) nell'area campita in rosso nelle figure di riferimento, mentre risulta ridotta di un fattore 100 (5 [UFC/100ml]) sul limite esterno della campitura viola.

Dall'analisi dei risultati si riscontra che in condizioni di scarico ordinario la simulazione sull'evento di riferimento invernale mostra una diffusione del plume coerente con l'idrodinamica prevalente, ovvero da Est a Ovest, con concentrazioni che rapidamente decrescono allontanandosi dal punto di scarico e risalendo lungo la colonna d'acqua. La massima estensione del plume rimane comunque prevalentemente confinata negli strati profondi e comunque ben lontana dal paraggio di interesse. Comportamento analogo si osserva sul periodo di riferimento estivo con dinamiche del plume caratterizzato da andamento radiale attorno allo scarico confinato sul fondale con concentrazioni in rapida decrescita.

In condizioni di scarico in emergenza (mancato funzionamento dell'impianto di depurazione), il plume risulta chiaramente marcatamente più esteso e risale in maniera significativa la colonna d'acqua andando a interessare anche gli strati superiori pur raggiungendo solo marginalmente e con concentrazioni minime la superficie. Le aree con concentrazioni superiori al limite di balneabilità rimangono comunque confinate sul fondale e al largo sia nello scenario di riferimento estivo che invernale, pur con differenti direzioni di propagazione, in analogia con le correnti.

9.4.1 Condizione di circolazione media invernale - SCARICO ORDINARIO

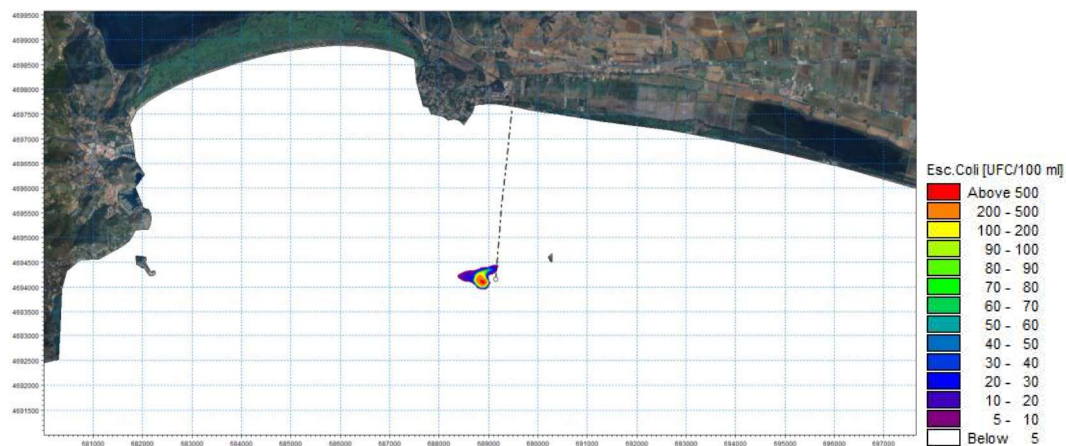


Figura 9.2 – Distribuzione del plume per la condizione di circolazione invernale – SCARICO ORDINARIO – layer di superficie

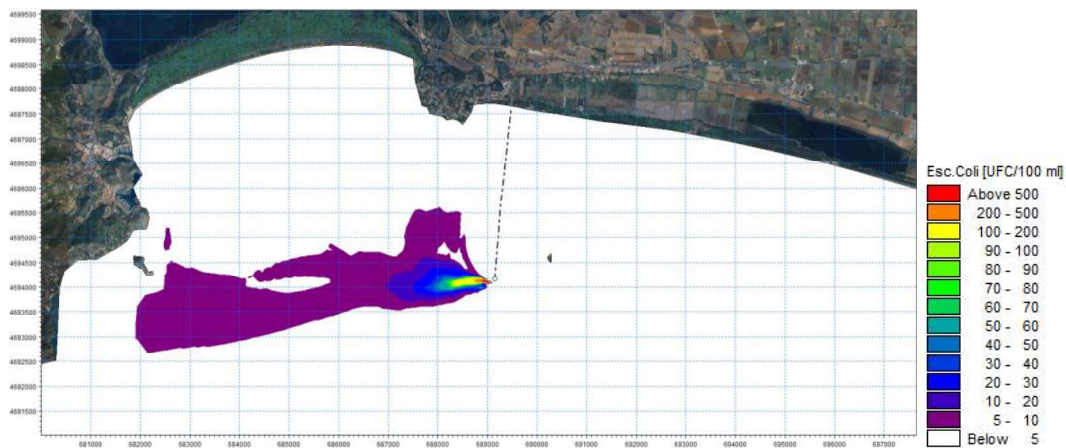


Figura 9.3 – Distribuzione del plume per la condizione di circolazione invernale – SCARICO ORDINARIO – layer medio

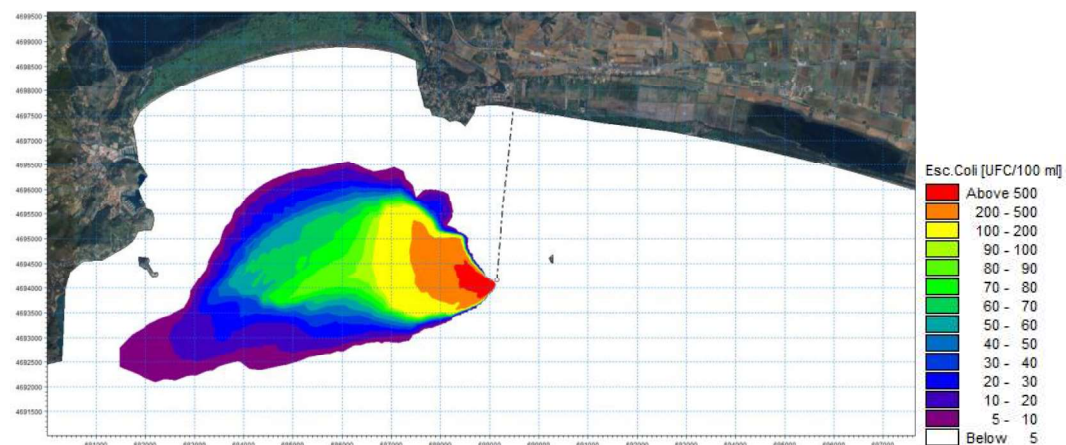


Figura 9.4 – Distribuzione del plume per la condizione di circolazione invernale – SCARICO ORDINARIO – layer di fondo



Figura 9.5 – Distribuzione verticale del plume in corrispondenza della condotta e del punto di scarico per la condizione di circolazione invernale – SCARICO ORDINARIO

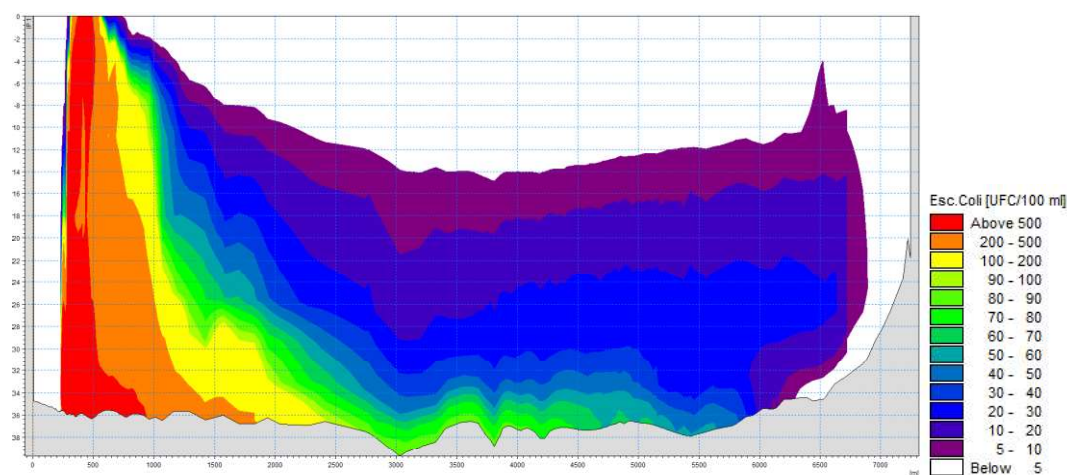


Figura 9.6 – Distribuzione verticale del plume lungo la direttrice di massima dispersione (da Est a Ovest) per la condizione di circolazione invernale – scarico ordinario

9.4.2 Condizione di circolazione media estiva – SCARICO ORDINARIO

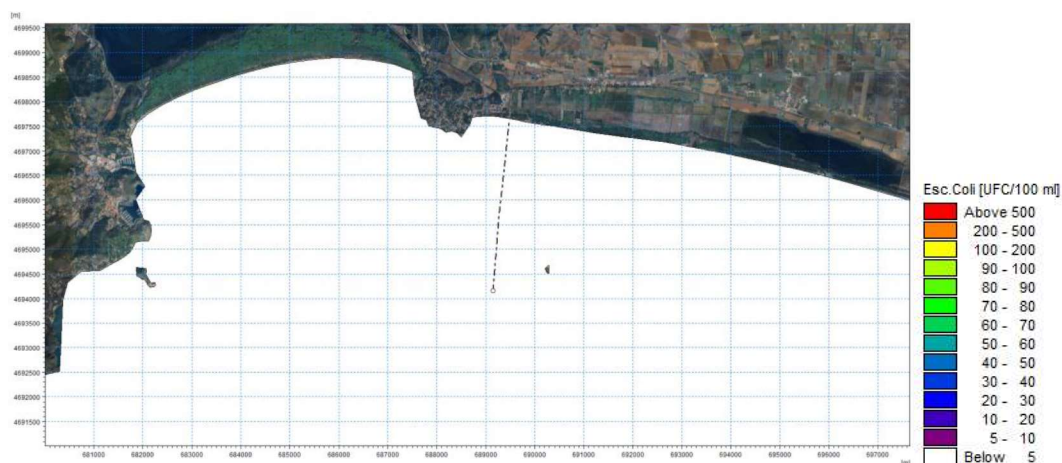


Figura 9.7 – Distribuzione del plume per la condizione di circolazione estiva – SCARICO ORDINARIO – layer di superficie

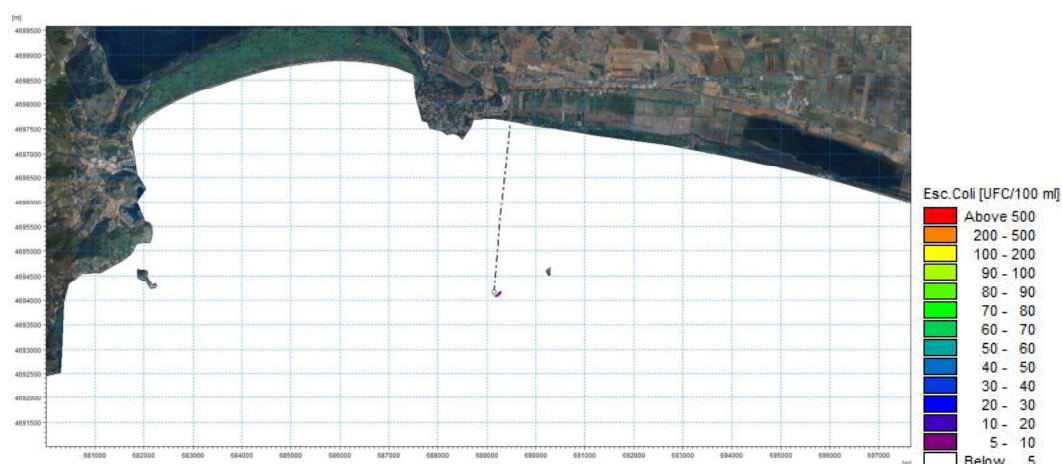


Figura 9.8 – Distribuzione del plume per la condizione di circolazione estiva – SCARICO ORDINARIO – layer medio

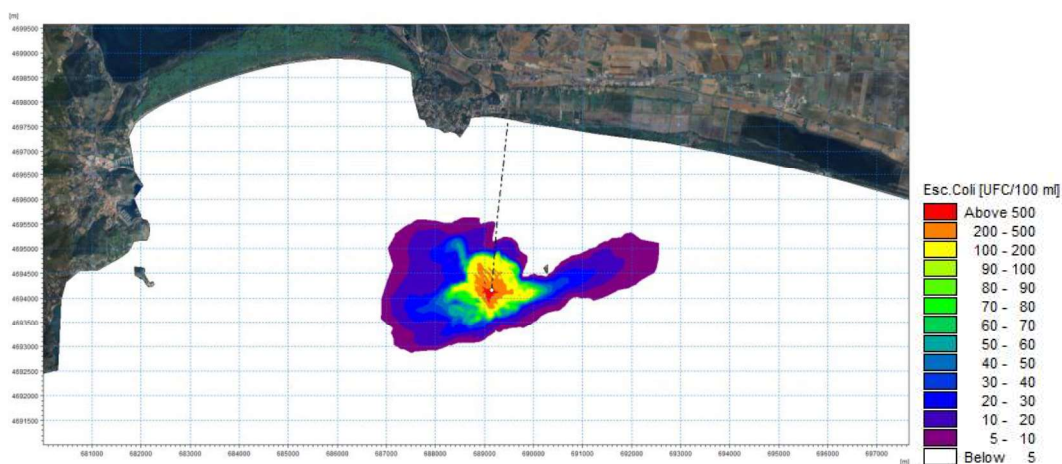


Figura 9.9 – Distribuzione del plume per la condizione di circolazione estiva – SCARICO ORDINARIO – layer di fondo

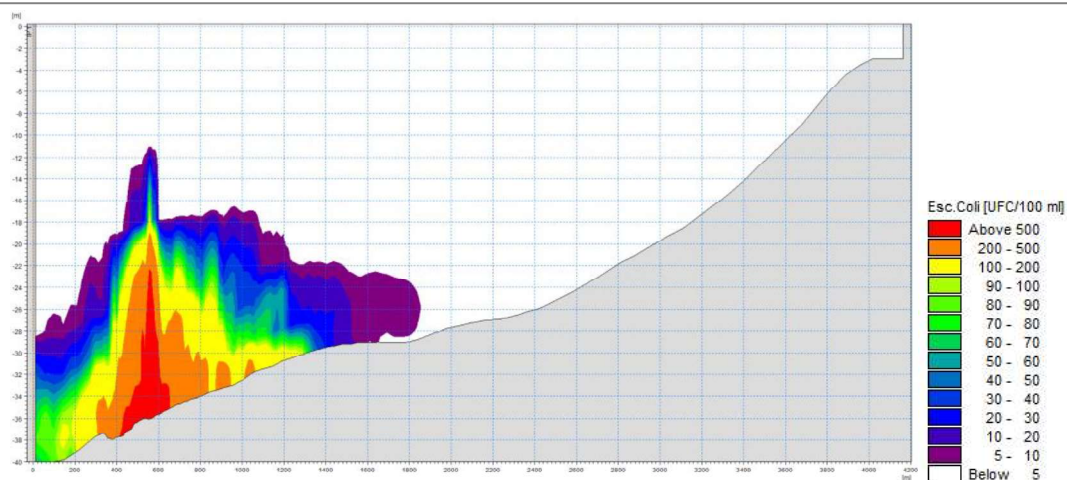


Figura 9.10 – Distribuzione verticale del plume in corrispondenza della condotta e del punto di scarico per la condizione di circolazione estiva – scarico ordinario

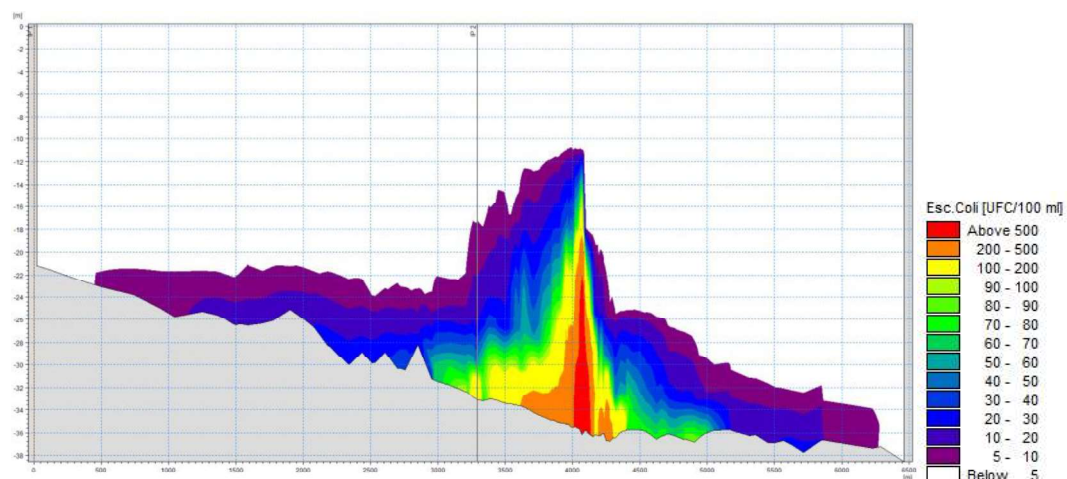


Figura 9.11 – Distribuzione verticale del plume lungo la direttrice di massima dispersione (da Nord-Est a Sud-Ovest) per la condizione di circolazione estiva – SCARICO ORDINARIO

9.4.3 Condizione di circolazione media invernale - SCARICO IN EMERGENZA

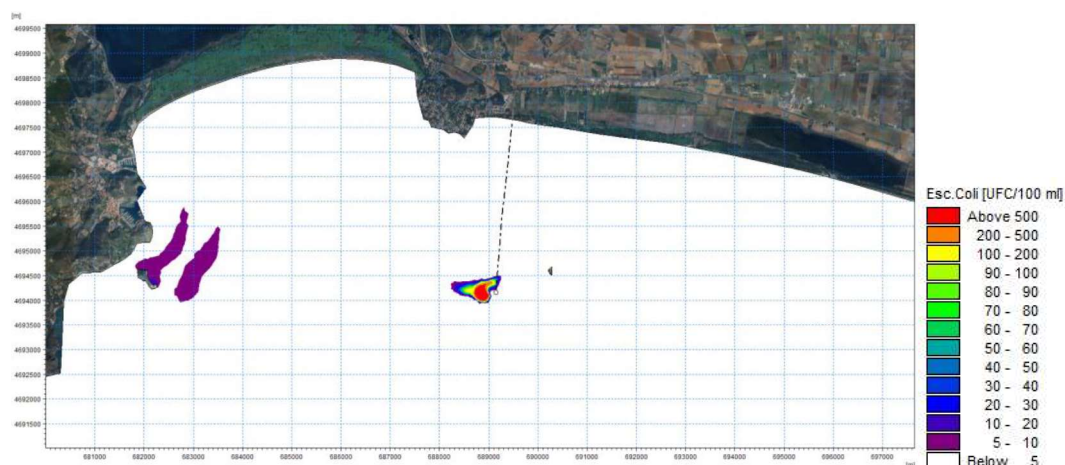


Figura 9.12 – Distribuzione del plume per la condizione di circolazione invernale – SCARICO IN EMERGENZA – layer di superficie

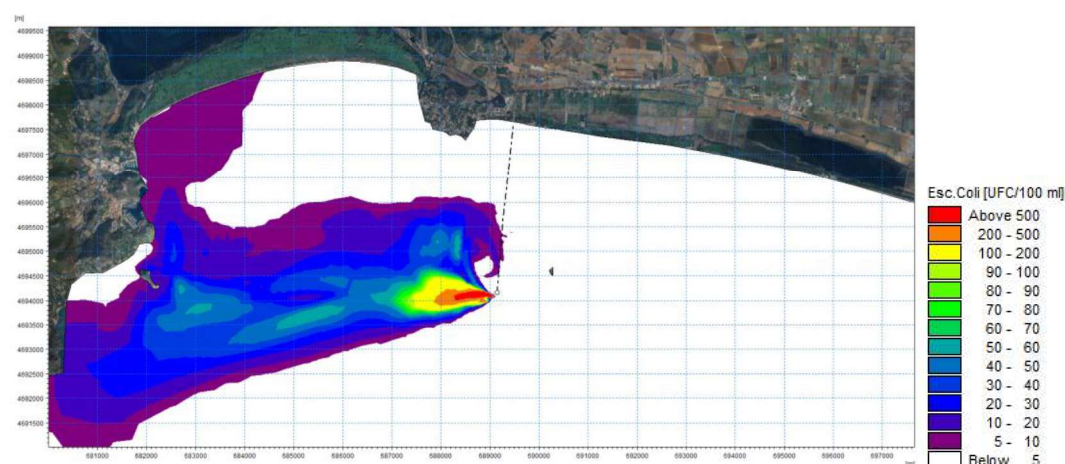


Figura 9.13 – Distribuzione del plume per la condizione di circolazione invernale – SCARICO IN EMERGENZA – layer medio

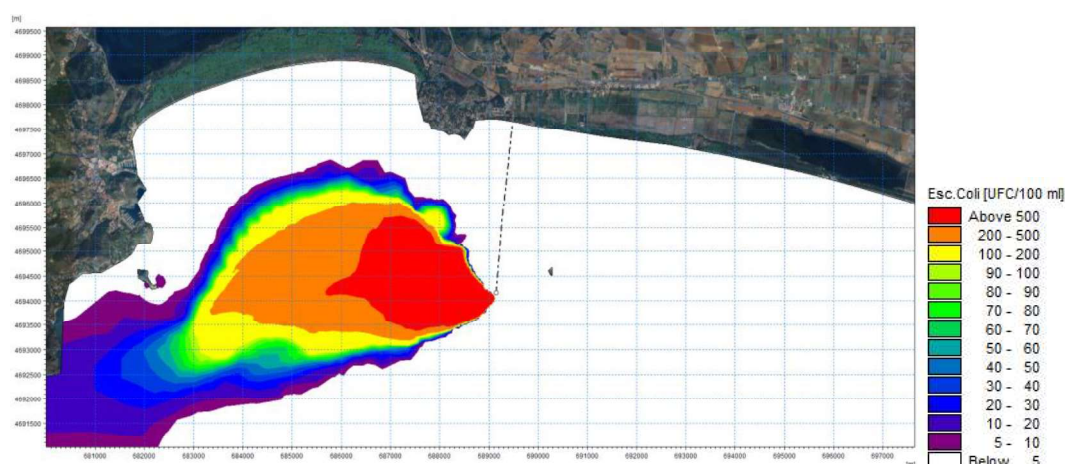


Figura 9.14 – Distribuzione del plume per la condizione di circolazione invernale – SCARICO IN EMERGENZA – layer di fondo

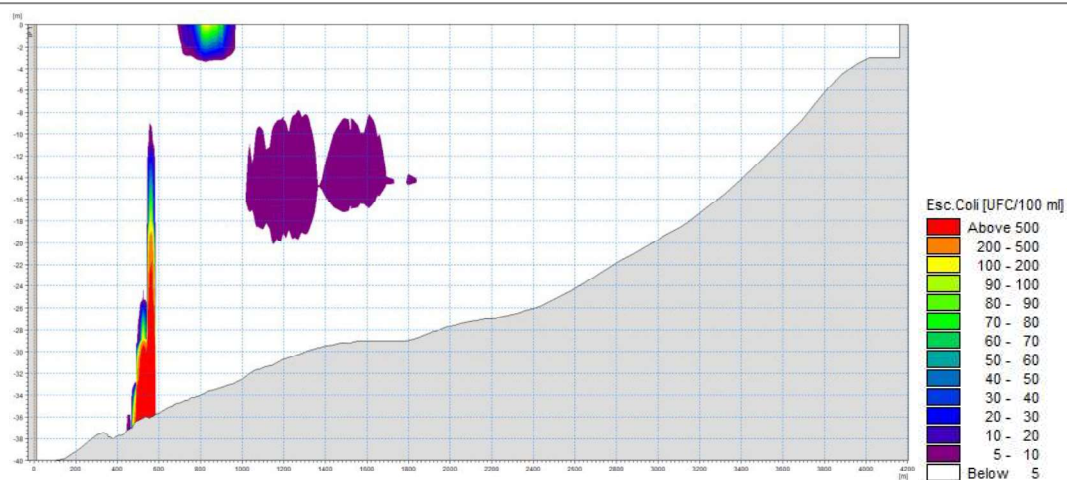


Figura 9.15 – Distribuzione verticale del plume in corrispondenza della condotta e del punto di scarico per la condizione di circolazione invernale – SCARICO IN EMERGENZA

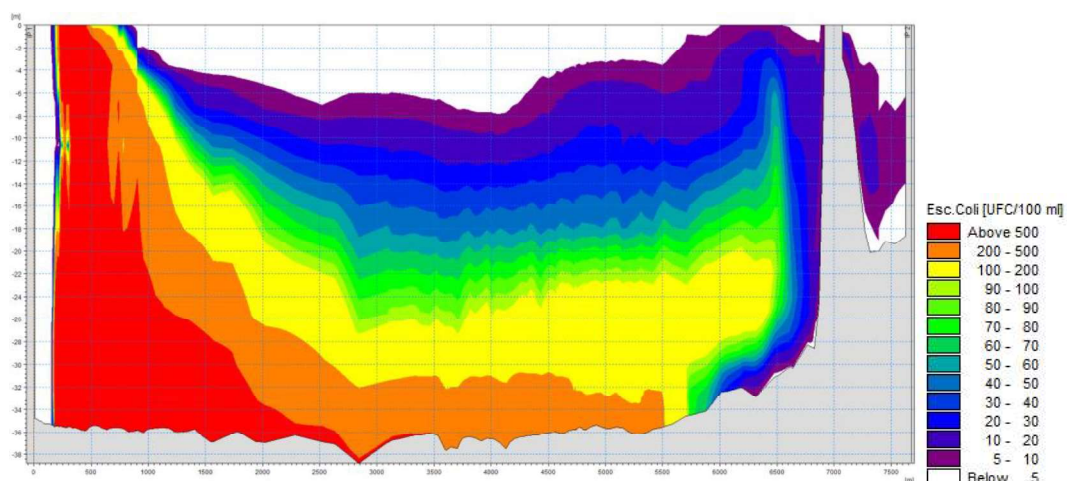


Figura 9.16 – Distribuzione verticale del plume lungo la direttrice di massima dispersione (da Est a Ovest) per la condizione di circolazione invernale – SCARICO IN EMERGENZA

9.4.4 Condizione di circolazione media estiva – SCARICO IN EMERGENZA

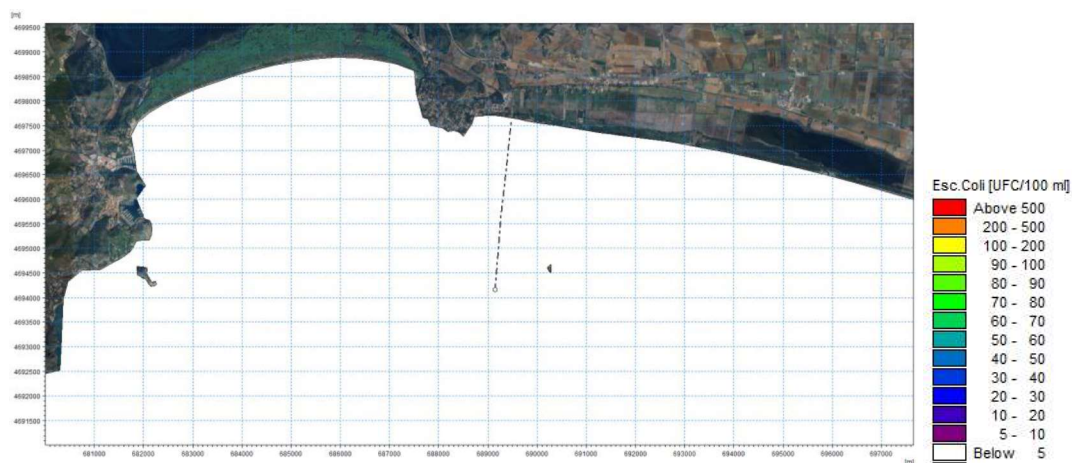


Figura 9.17 – Distribuzione del plume per la condizione di circolazione estiva – SCARICO IN EMERGENZA – layer di superficie

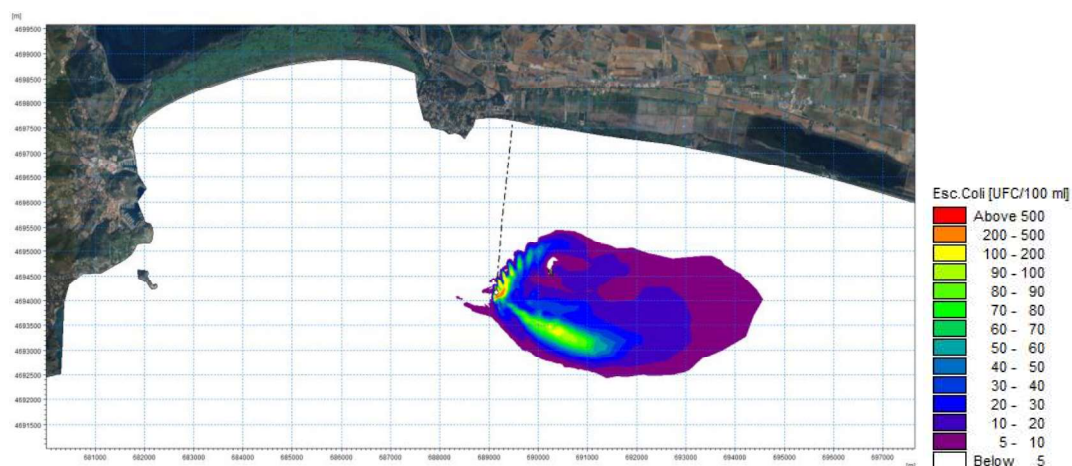


Figura 9.18 – Distribuzione del plume per la condizione di circolazione estiva – SCARICO IN EMERGENZA – layer medio

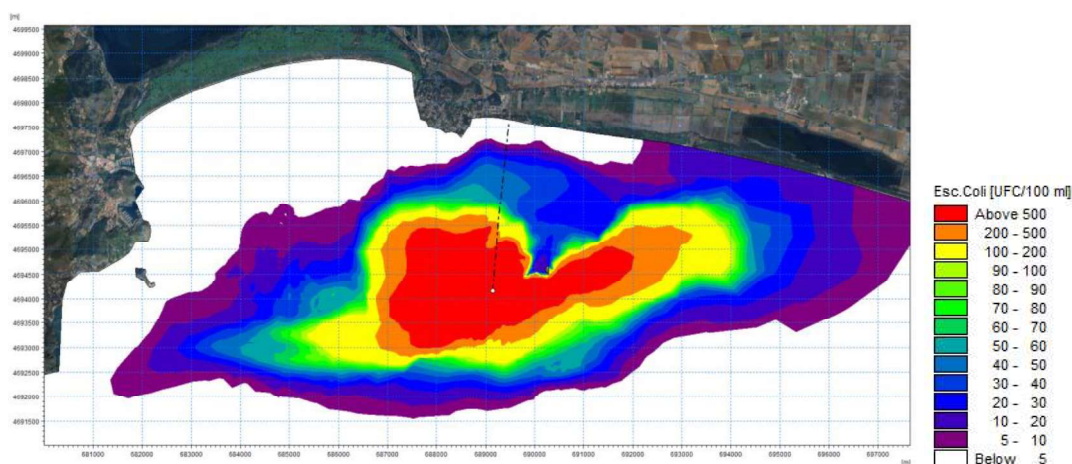


Figura 9.19 – Distribuzione del plume per la condizione di circolazione estiva – SCARICO IN EMERGENZA – layer di fondo

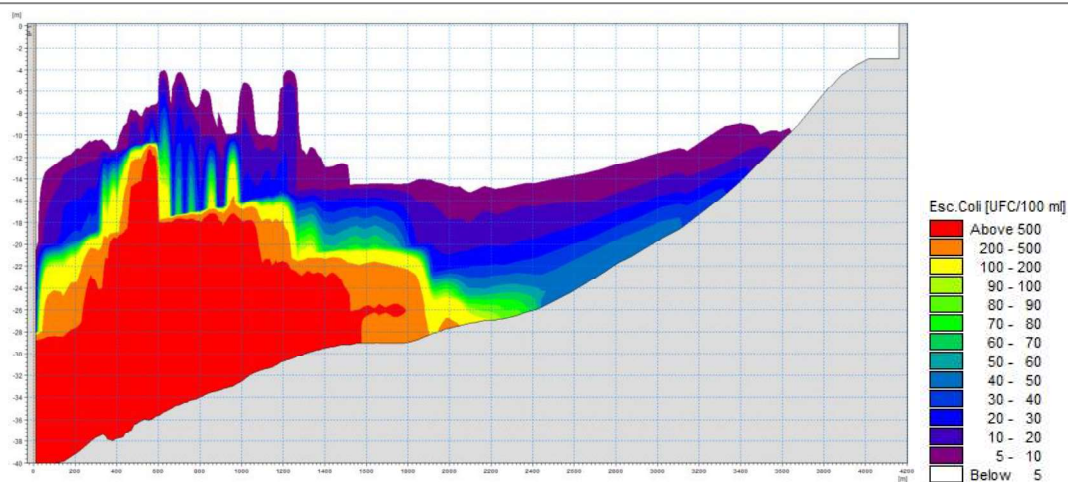


Figura 9.20 – Distribuzione verticale del plume in corrispondenza della condotta e del punto di scarico per la condizione di circolazione estiva – SCARICO IN EMERGENZA

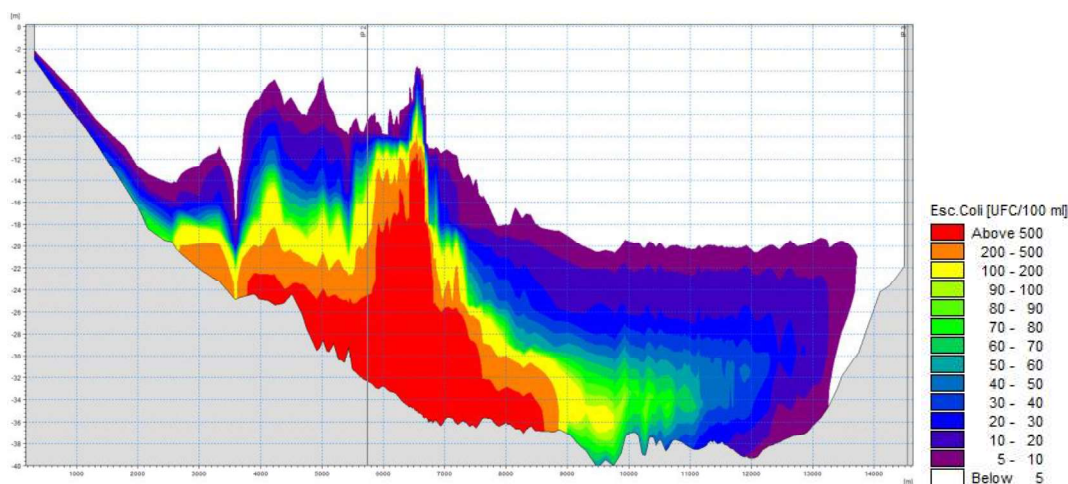


Figura 9.21 – Distribuzione verticale del plume lungo la direttrice di massima dispersione (da Nord-Est a Sud-Ovest) per la condizione di circolazione estiva – SCARICO IN EMERGENZA

10. VERIFICA DI COMPATIBILITÀ SCARICO DI EMERGENZA

È stata inoltre valutata una condotta di emergenza, alternativa alla condotta esistente, da prevedersi al fine di gestire scenari emergenziali nella gestione dei reflui.

Lo scenario di progetto prevede una condotta, di lunghezza circa pari a 3.4 [km] che scarichi i reflui a largo di Monte Argentario in corrispondenza della batimetria 30 [m].



Figura 10.1 – Condotta Emergenziale nello scenario di progetto

Sulla base di tale scenario di progetto, sono state implementate le analisi descritte nei capitoli precedenti per lo scenario dello stato attuale. Nei seguenti capitoli si riportano i risultati delle analisi condotte.

10.1 MODELLO IDRODINAMICO

Per quanto concerne la modellazione idrodinamica delle correnti è stato utilizzato lo stesso dominio e le stesse condizioni implementate per lo scenario di analisi dello stato attuale. Per la descrizione delle modellazioni, delle condizioni al contorno e delle risultanze delle modellistiche implementate per gli scenari invernale ed estivo indagati si rimanda, dunque, al precedente capitolo §7.

10.2 MODELLO DI TRASPORTO DEGLI INQUINANTI

Ai fini della lettura dei risultati del modello AD sono state elaborate delle mappe degli inviluppi di concentrazione dell'effluente in corrispondenza di prefissati piani verticali (superficiale, intermedio e profondo).

Lungo l'allineamento della condotta di scarico è stata inoltre restituita una sezione verticale con i massimi valori di concentrazione registrati.

Nei paragrafi seguenti si riportano in forma grafica e tabellare dei risultati ottenuti nelle varie simulazioni eseguite.

Si osserva che, in tutti i piani, la concentrazione dell'indicatore di qualità "X" ipotizzato allo scarico di 100 mg/l è chiaramente massimo in corrispondenza del punto di scarico e, già nell'area campita in viola nelle figure di riferimento, risulta pari a 1 mg/l ovvero ridotta di un fattore 100.

Dall'analisi dei risultati si evince che, come per lo scenario relativo alla condotta esistente, nel periodo invernale il pennacchio risulta contenuto in ragione delle correnti idrodinamiche che, di fatto, diluiscono la concentrazione dell'effluente. Tale fenomeno di diluizione è meno evidente nello scenario estivo, in cui il pennacchio si propaga maggiormente rispetto alla condizione invernale seppur rimanendo anch'esso confinato al fondo e comunque interessando solo areali in prossimità dello scarico.

10.2.1 Condizione di circolazione media invernale

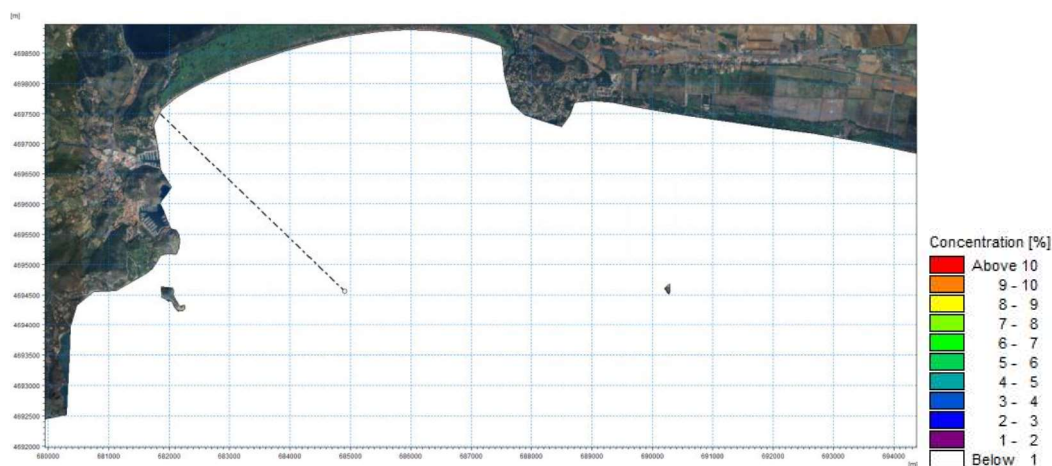


Figura 10.2 – Scarico di emergenza - Distribuzione del plume per la condizione di circolazione invernale - layer di superficie

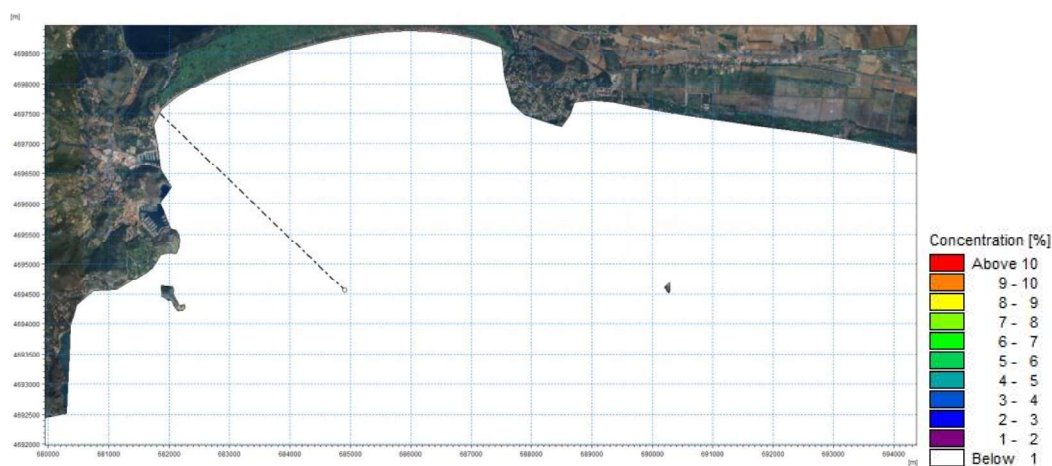


Figura 10.3 – Scarico di emergenza - Distribuzione del plume per la condizione di circolazione invernale - layer medio

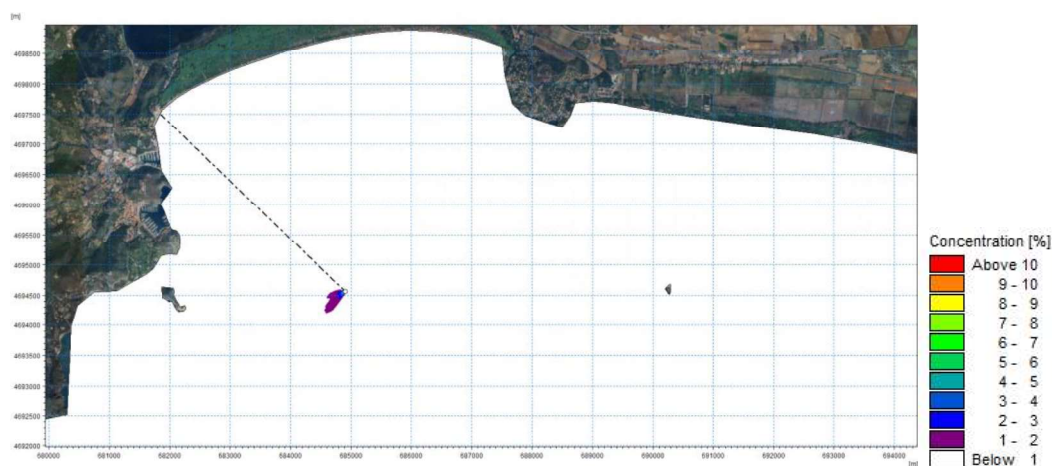


Figura 10.4 – Scarico di emergenza - Distribuzione del plume per la condizione di circolazione invernale - layer di fondo

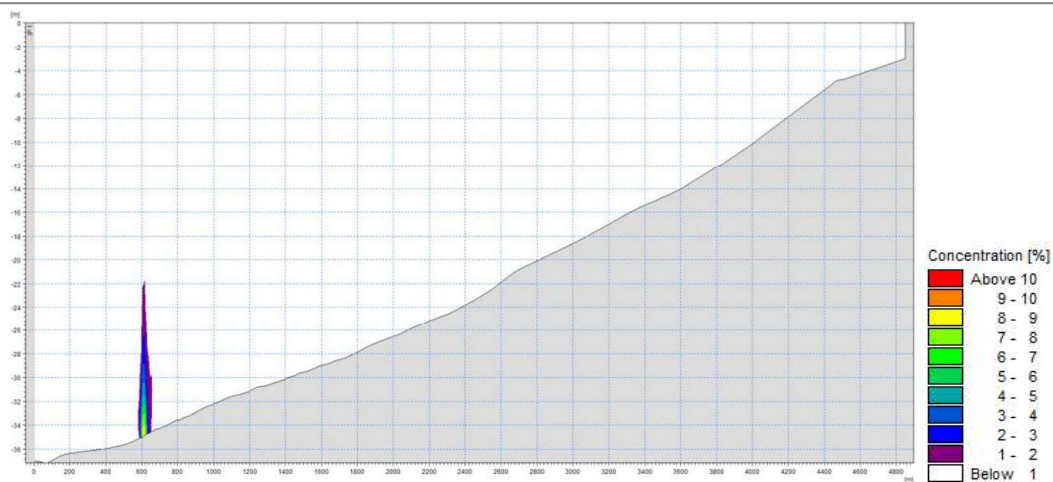


Figura 10.5 – Scarico di emergenza - Distribuzione verticale del plume in corrispondenza della condotta e del punto di scarico per la condizione di circolazione invernale

10.2.2 Condizione di circolazione media estiva

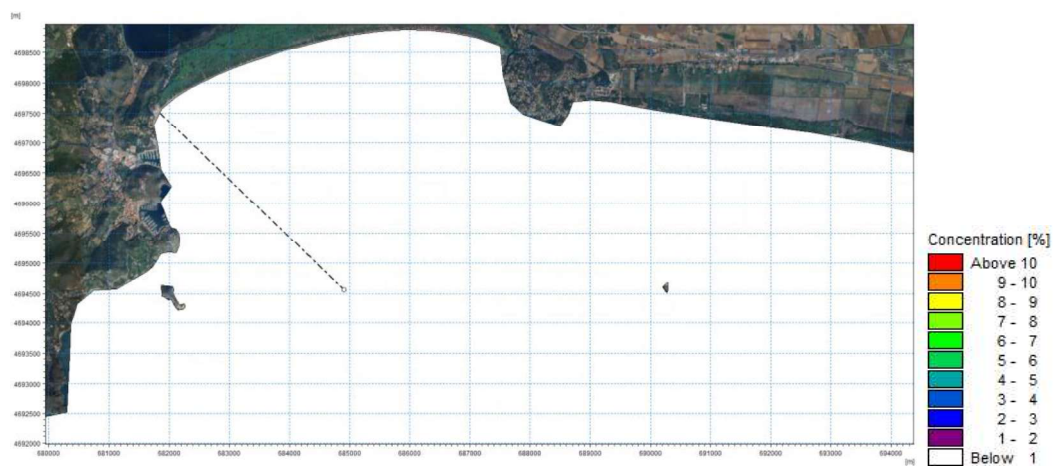


Figura 10.6 – Scarico di emergenza - Distribuzione del plume per la condizione di circolazione estiva - layer di superficie

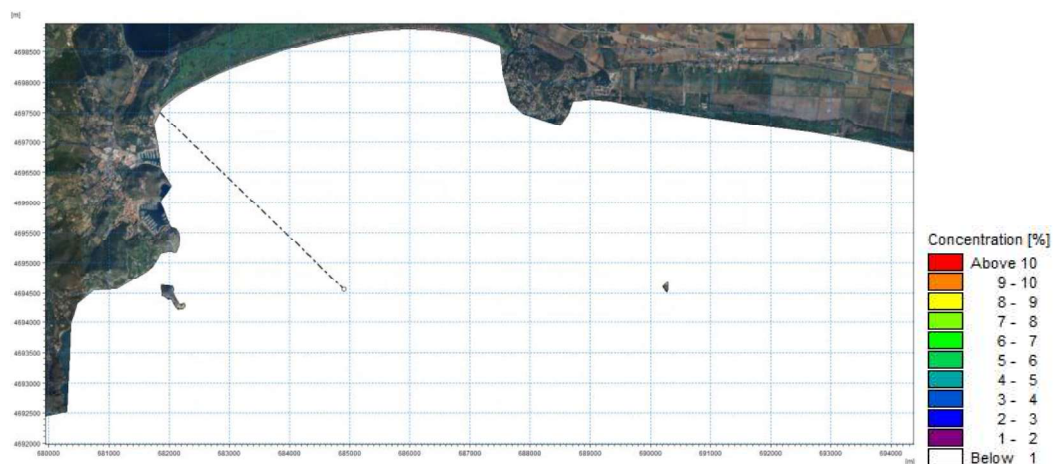


Figura 10.7 – Scarico di emergenza - Distribuzione del plume per la condizione di circolazione estiva - layer medio

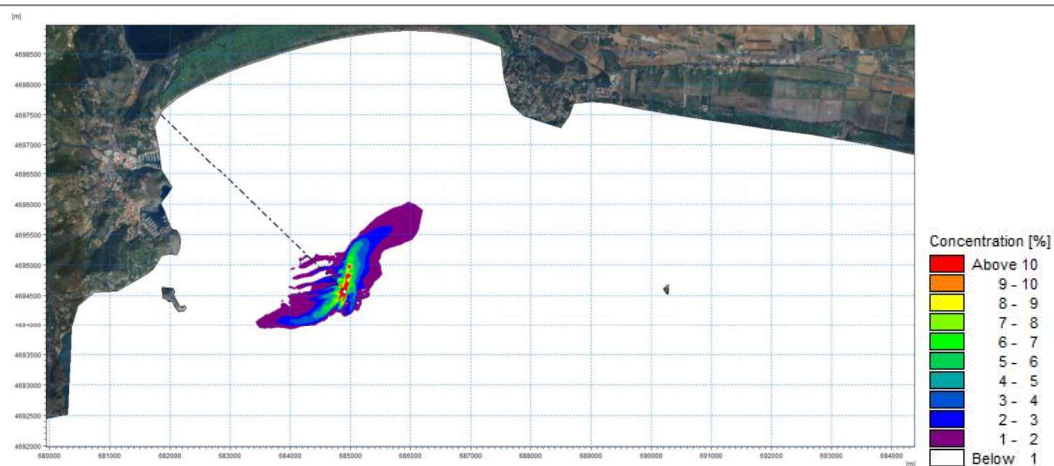


Figura 10.8 – Scarico di emergenza - Distribuzione del plume per la condizione di circolazione estiva - layer di fondo

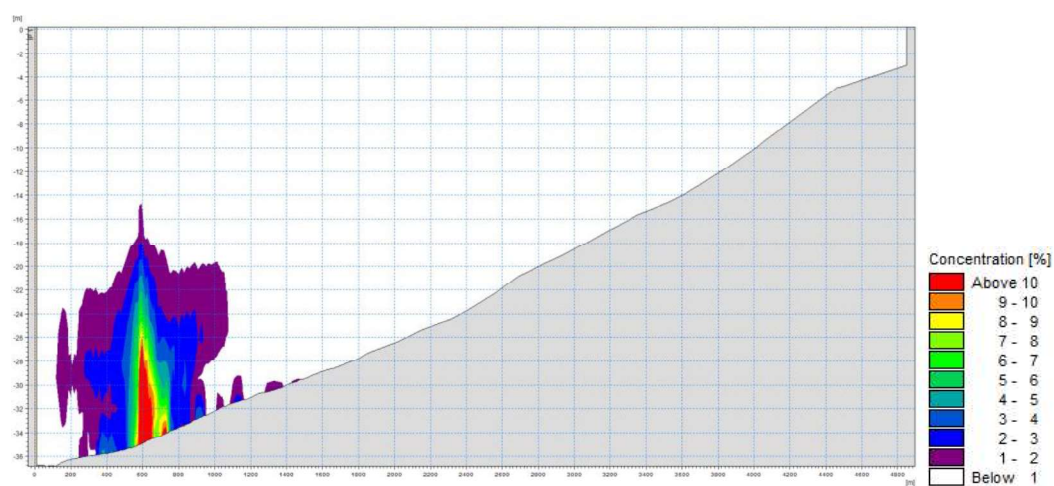


Figura 10.9 – Scarico di emergenza - Distribuzione verticale del plume in corrispondenza della condotta e del punto di scarico per la condizione di circolazione estiva

10.3 MODELLO IDROECOLOGICO E DI QUALITÀ DELLE ACQUE, TRASPORTO E DEGRADAZIONE BATTERICA

Ai fini della lettura dei risultati del modello ECO Lab sono state elaborate delle mappe degli involuipi di concentrazione del parametro E. Coli in corrispondenza di prefissati piani verticali (superficiale, intermedio e profondo).

Lungo l'allineamento della condotta di scarico e lungo la direzione di massima propagazione sono state inoltre restituite le sezioni verticali con i massimi valori di concentrazione registrati.

Nei paragrafi seguenti si riportano in forma grafica i risultati ottenuti nelle varie simulazioni eseguite. Si osserva che la concentrazione del parametro E. Coli è chiaramente massimo in corrispondenza del punto di scarico e supera i valori limite di balneabilità (500 [UFC/100ml] come da DM 30/03/10) nell'area campita in rosso nelle figure di riferimento, mentre risulta ridotta di un fattore 100 (5 [UFC/100ml]) sul limite esterno della campitura viola.

Dall'analisi dei risultati si riscontra che in condizioni di scarico ordinario, in analogia con le simulazioni condotte sullo scarico esistente, anche ipotizzando il funzionamento dello scarico di emergenza, la simulazione sull'evento di riferimento invernale mostra una diffusione del plume coerente con l'idrodinamica prevalente, ovvero da Est a Ovest, con concentrazioni che rapidamente decrescono allontanandosi dal punto di scarico e risalendo lungo la colonna d'acqua. La massima estensione del plume interessa prevalentemente gli strati profondi e comunque lontana dal paraggio di interesse. Comportamento analogo si osserva sul periodo di riferimento estivo con dinamiche del plume caratterizzato da andamento radiale attorno allo scarico confinato sul fondale con concentrazioni in rapida decrescita.

In condizioni di scarico in emergenza (mancato funzionamento dell'impianto di depurazione) ed utilizzo della condotta di progetto, il plume risulta chiaramente marcatamente più esteso e risale in maniera significativa la colonna d'acqua andando a interessare, sul periodo di riferimento invernale, anche gli strati superficiali, pur con concentrazioni molto limitate e ben al di sotto del limite di balneabilità. Comportamento analogo si registra sul periodo estivo pur con differenti direzione di propagazione, in analogia con le correnti, e senza raggiungere gli strati superficiali.

10.3.1 Condizione di circolazione media invernale - SCARICO ORDINARIO

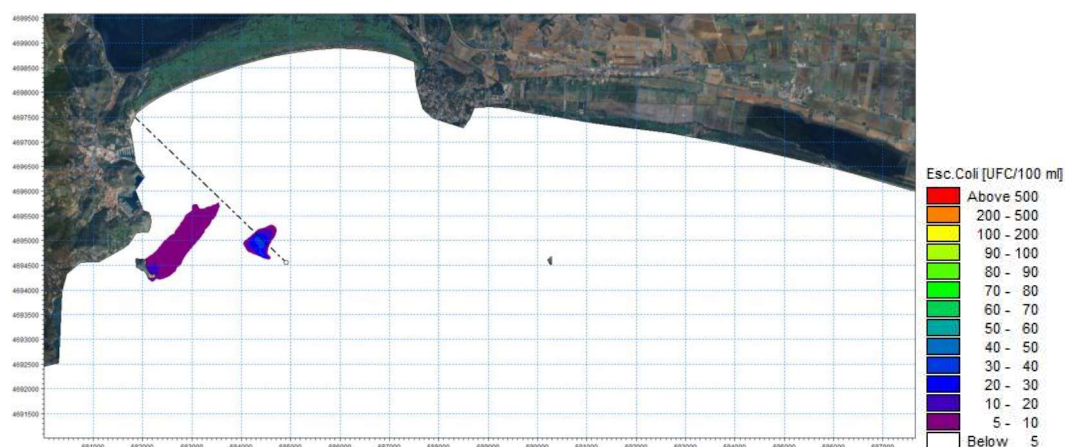


Figura 10.10 – Scarico di emergenza - Distribuzione del plume per la condizione di circolazione invernale – SCARICO ORDINARIO – layer di superficie

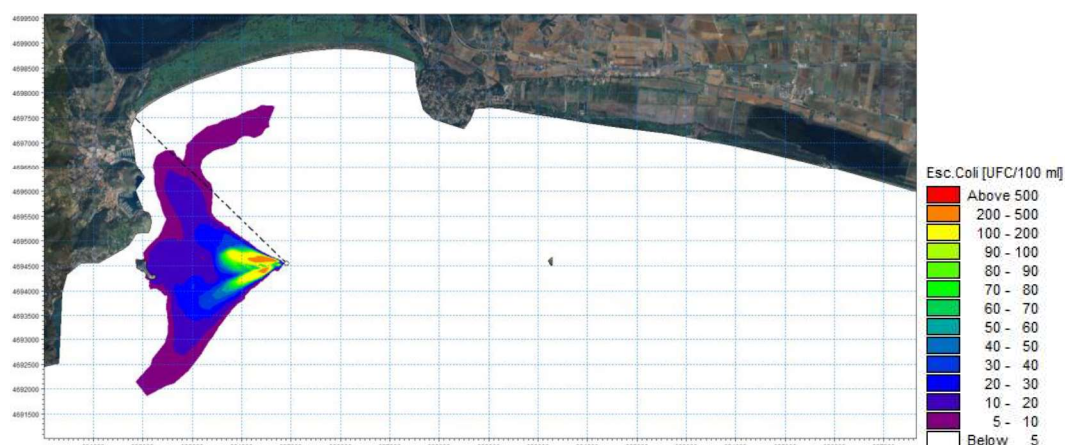


Figura 10.11 – Scarico di emergenza - Distribuzione del plume per la condizione di circolazione invernale – SCARICO ORDINARIO – layer medio

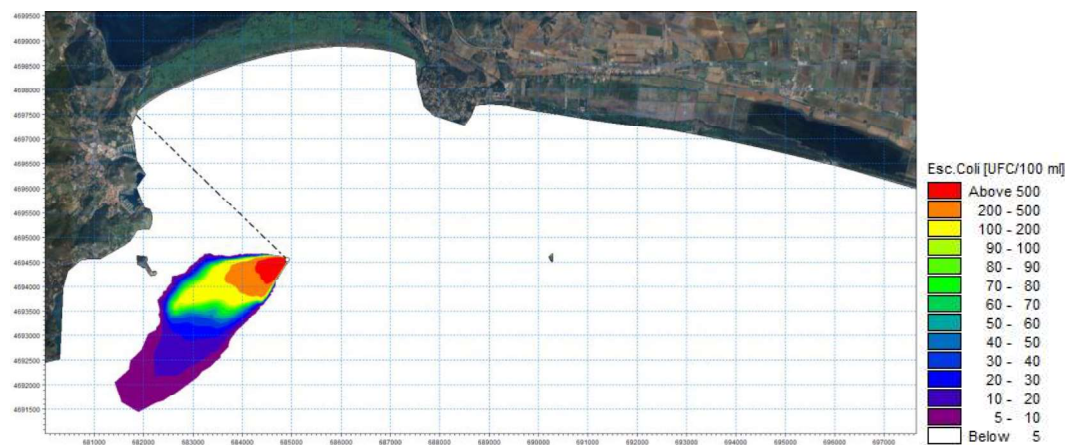


Figura 10.12 – Scarico di emergenza - Distribuzione del plume per la condizione di circolazione invernale – SCARICO ORDINARIO – layer di fondo

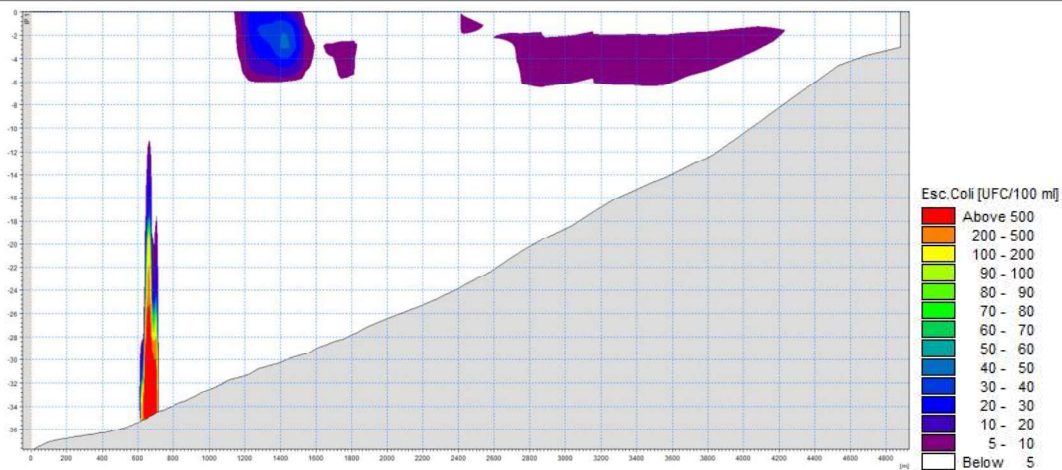


Figura 10.13 – Scarico di emergenza - Distribuzione verticale del plume in corrispondenza della condotta e del punto di scarico per la condizione di circolazione invernale – scarico ordinario

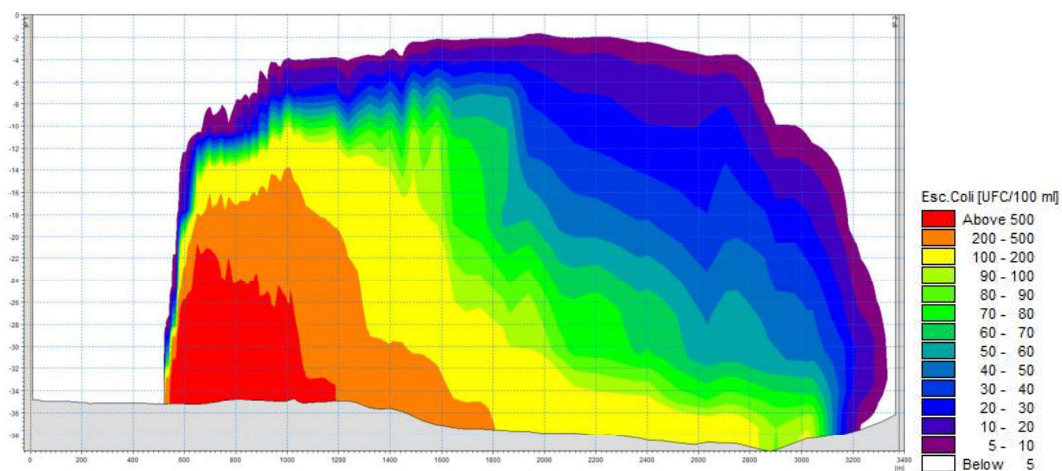


Figura 10.14 – Scarico di emergenza - Distribuzione verticale del plume lungo la direttrice di massima dispersione (da Nord-Est a Sud-Ovest) per la condizione di circolazione invernale – SCARICO ORDINARIO

10.3.2 Condizione di circolazione media estiva – SCARICO ORDINARIO

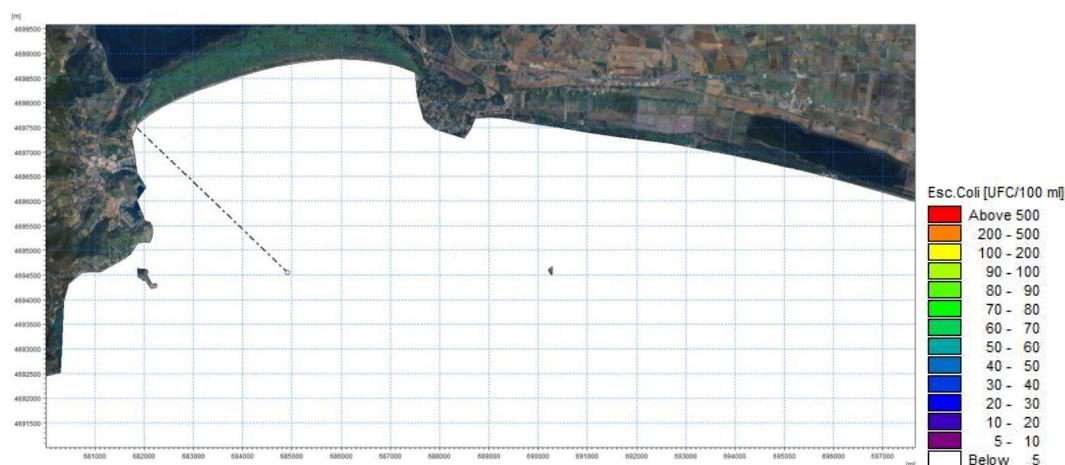


Figura 10.15 – Scarico di emergenza - Distribuzione del plume per la condizione di circolazione estiva – SCARICO ORDINARIO – layer di superficie

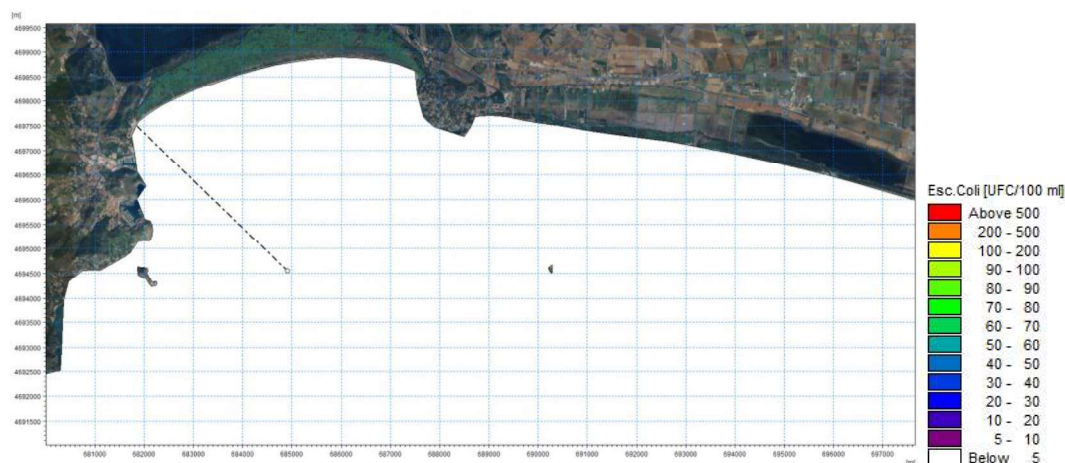


Figura 10.16 – Scarico di emergenza - Distribuzione del plume per la condizione di circolazione estiva – SCARICO ORDINARIO – layer medio

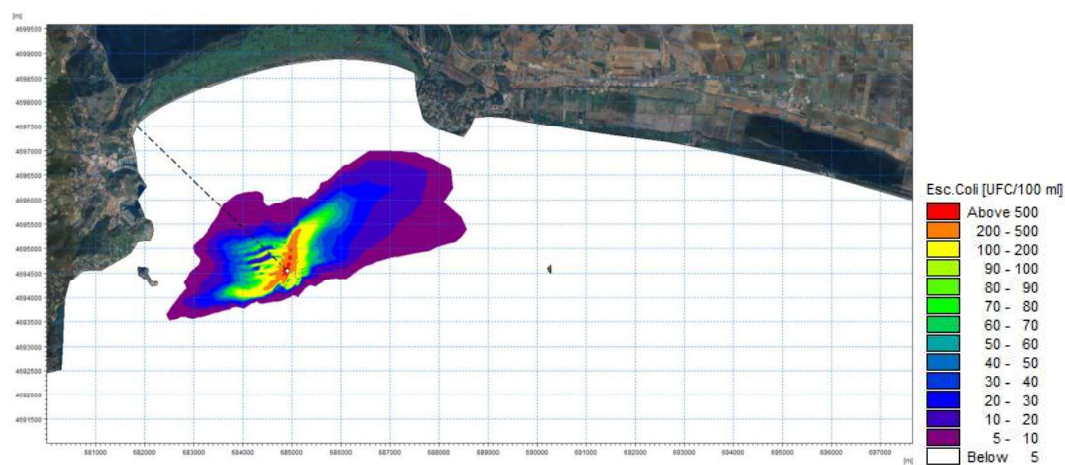


Figura 10.17 – Scarico di emergenza - Distribuzione del plume per la condizione di circolazione estiva – SCARICO ORDINARIO – layer di fondo

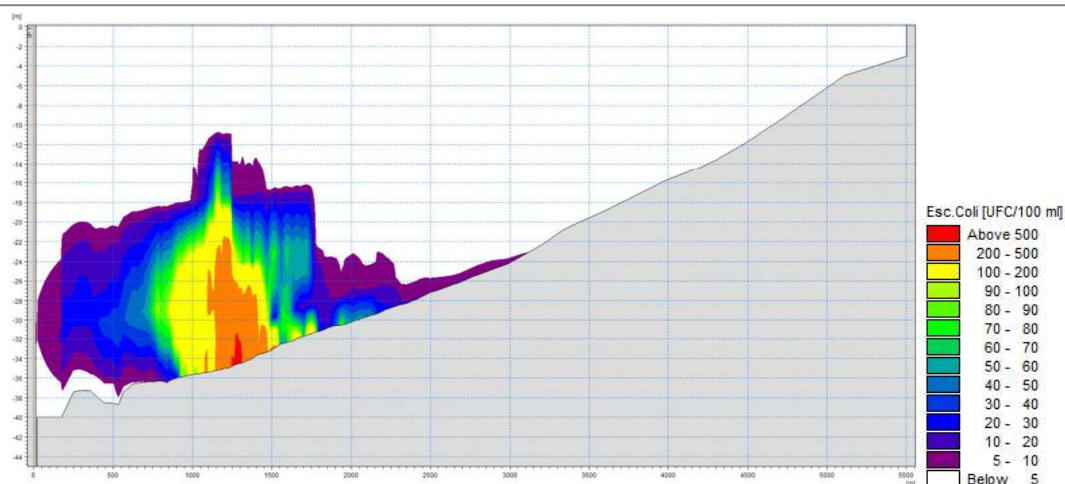


Figura 10.18 – Scarico di emergenza - Distribuzione verticale del plume in corrispondenza della condotta e del punto di scarico per la condizione di circolazione estiva – SCARICO ORDINARIO

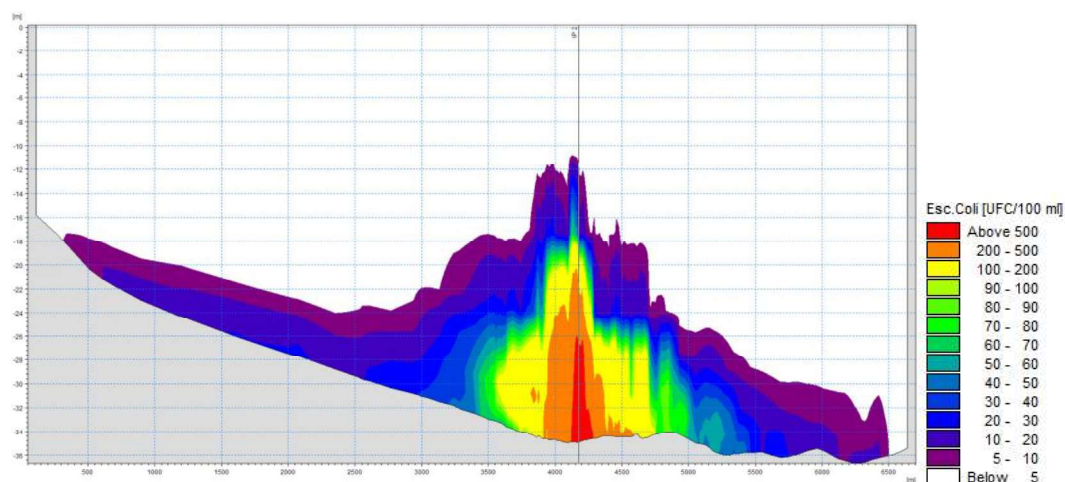


Figura 10.19 – Scarico di emergenza - Distribuzione verticale del plume lungo la direttrice di massima dispersione (da Nord-Est a Sud-Ovest) per la condizione di circolazione estiva – SCARICO ORDINARIO

10.3.3 Condizione di circolazione media invernale - SCARICO IN EMERGENZA

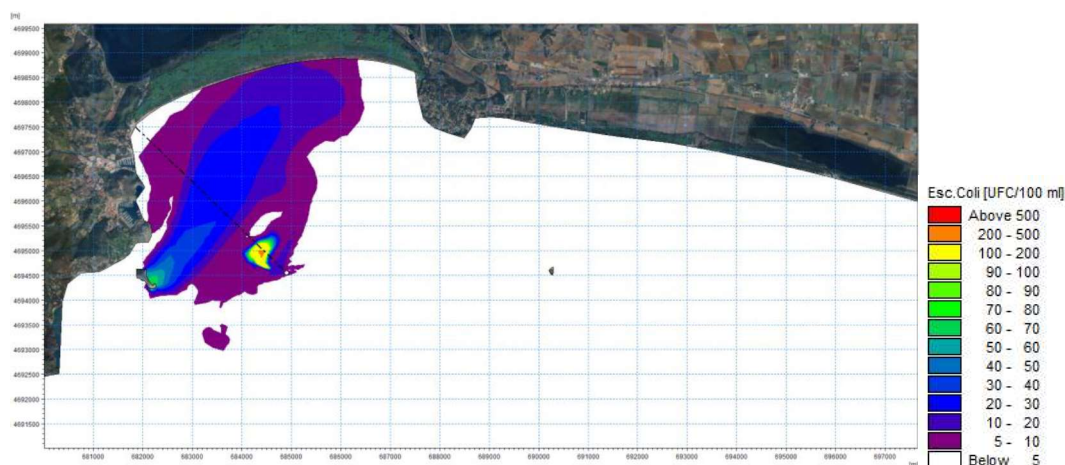


Figura 10.20 – Scarico di emergenza - Distribuzione del plume per la condizione di circolazione invernale – SCARICO IN EMERGENZA – layer di superficie

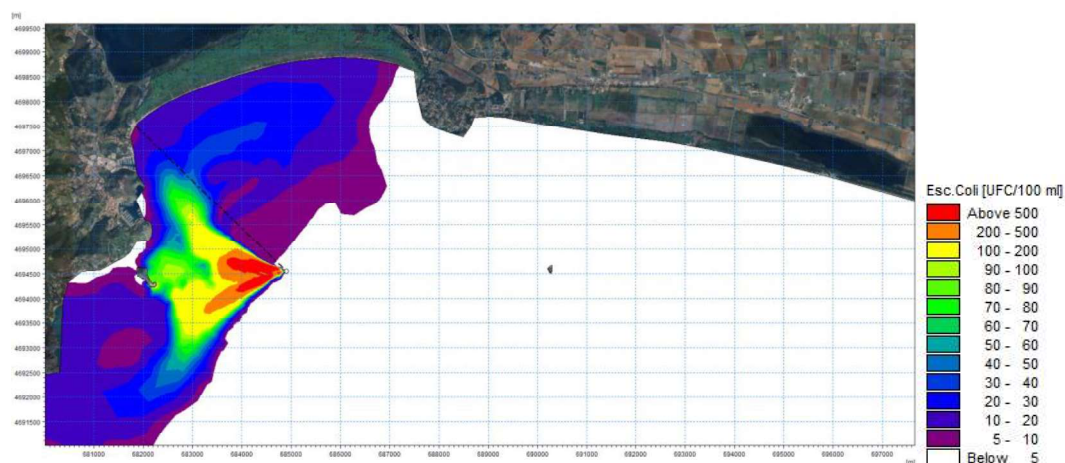


Figura 10.21 – Scarico di emergenza - Distribuzione del plume per la condizione di circolazione invernale – SCARICO IN EMERGENZA – layer medio

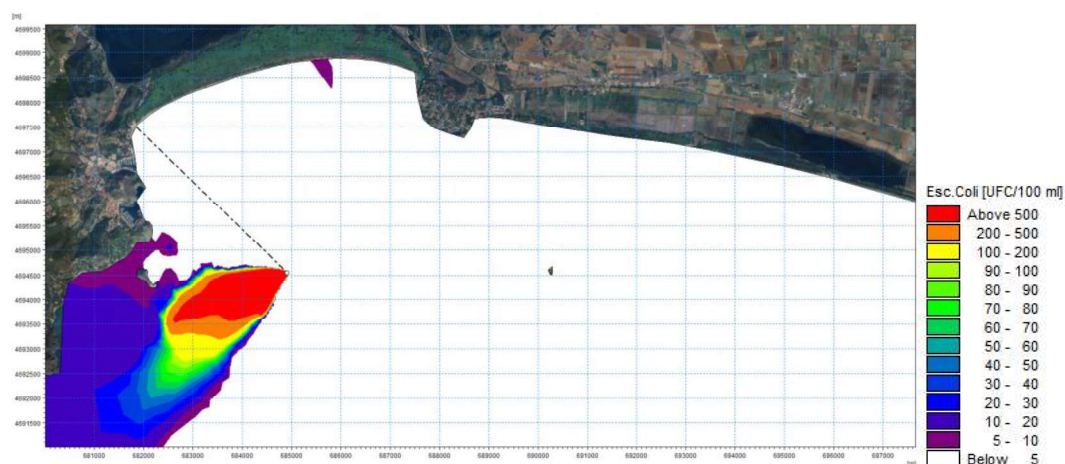


Figura 10.22 – Scarico di emergenza - Distribuzione del plume per la condizione di circolazione invernale – SCARICO IN EMERGENZA – layer di fondo

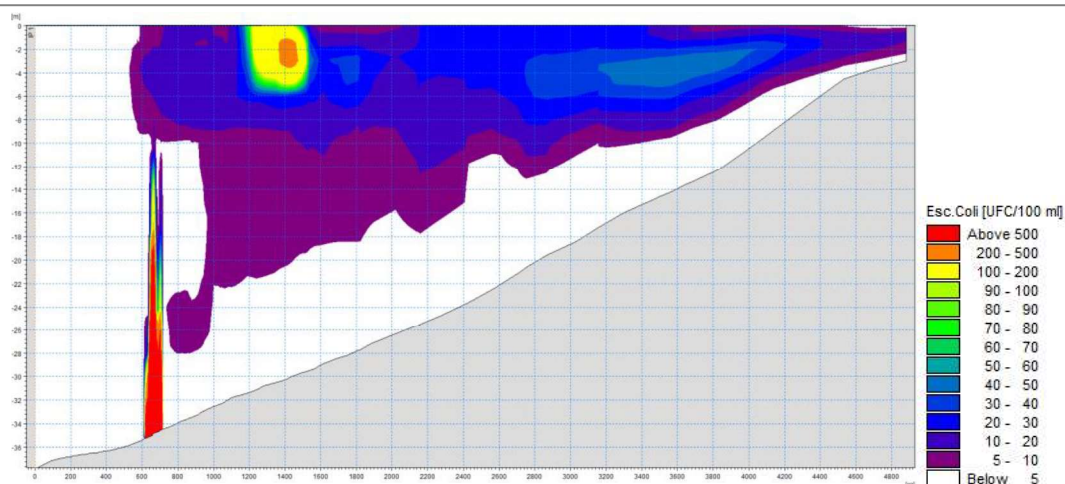


Figura 10.23 – Scarico di emergenza - Distribuzione verticale del plume in corrispondenza della condotta e del punto di scarico per la condizione di circolazione invernale – SCARICO IN EMERGENZA

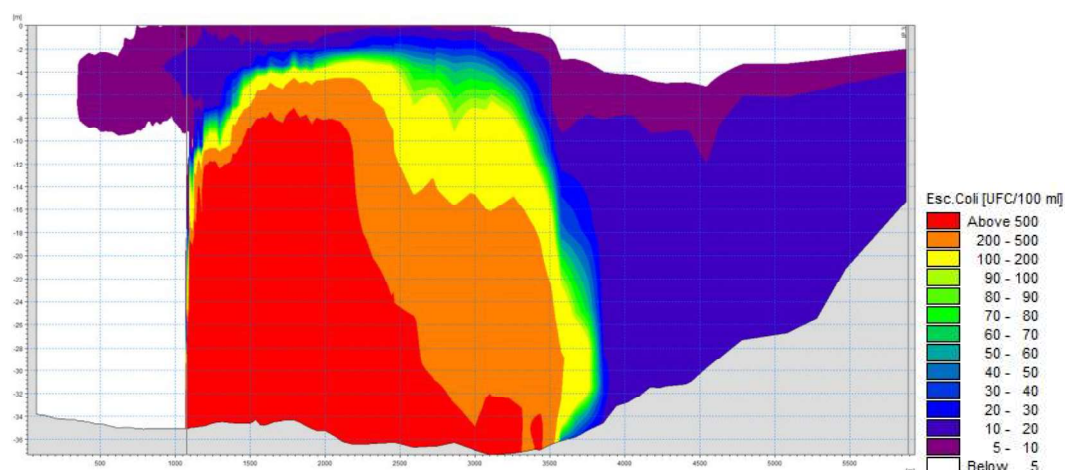


Figura 10.24 – Scarico di emergenza - Distribuzione verticale del plume lungo la direttrice di massima dispersione (da Est-Nord-Est a Ovest-Sud-Ovest) per la condizione di circolazione invernale – SCARICO IN EMERGENZA

10.3.4 Condizione di circolazione media estiva – SCARICO IN EMERGENZA

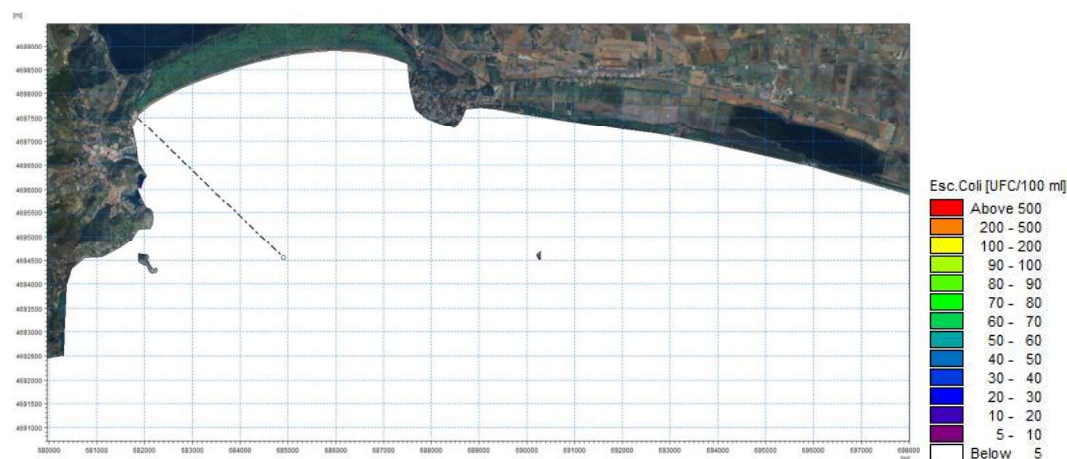


Figura 10.25 – Distribuzione del plume per la condizione di circolazione estiva – SCARICO IN EMERGENZA – layer di superficie

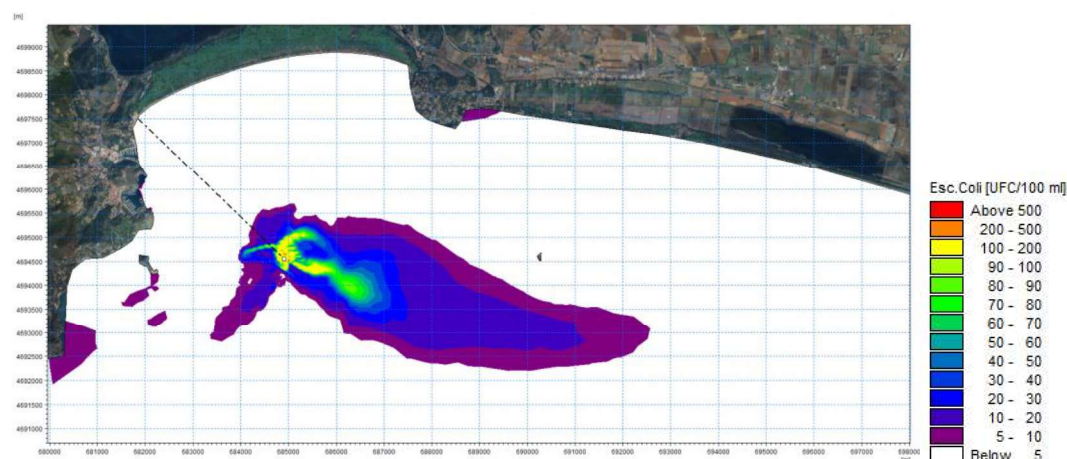


Figura 10.26 – Scarico di emergenza - Distribuzione del plume per la condizione di circolazione estiva – SCARICO IN EMERGENZA – layer medio

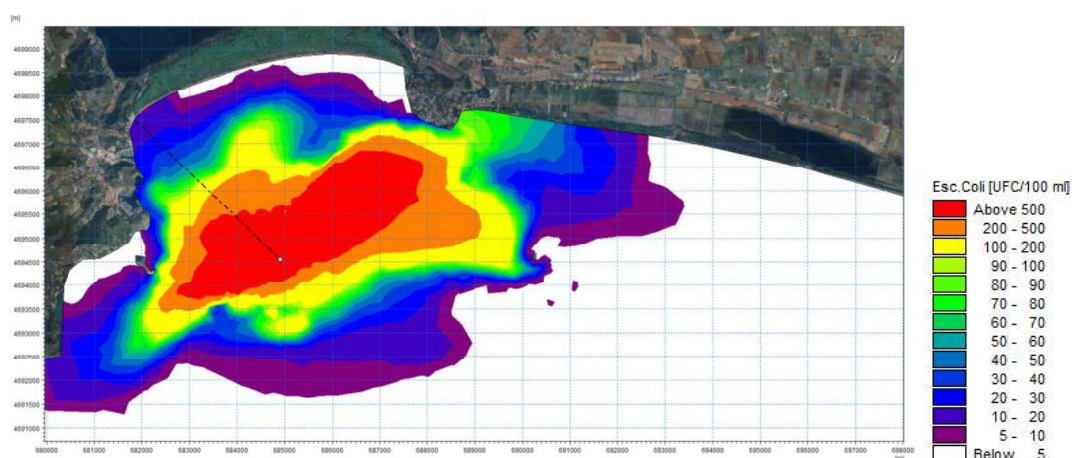


Figura 10.27 – Scarico di emergenza - Distribuzione del plume per la condizione di circolazione estiva – SCARICO IN EMERGENZA – layer di fondo

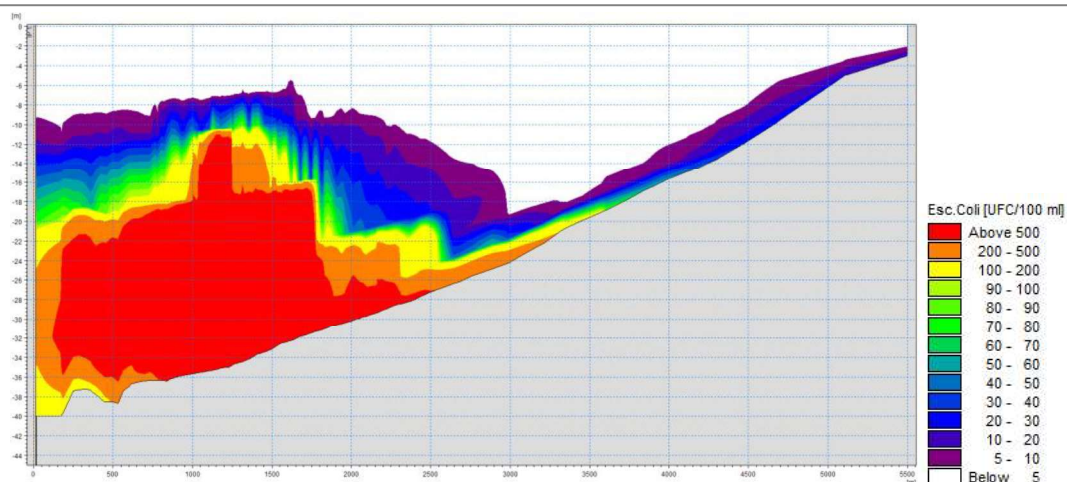


Figura 10.28 – Scarico di emergenza - Distribuzione verticale del plume in corrispondenza della condotta e del punto di scarico per la condizione di circolazione estiva – SCARICO IN EMERGENZA

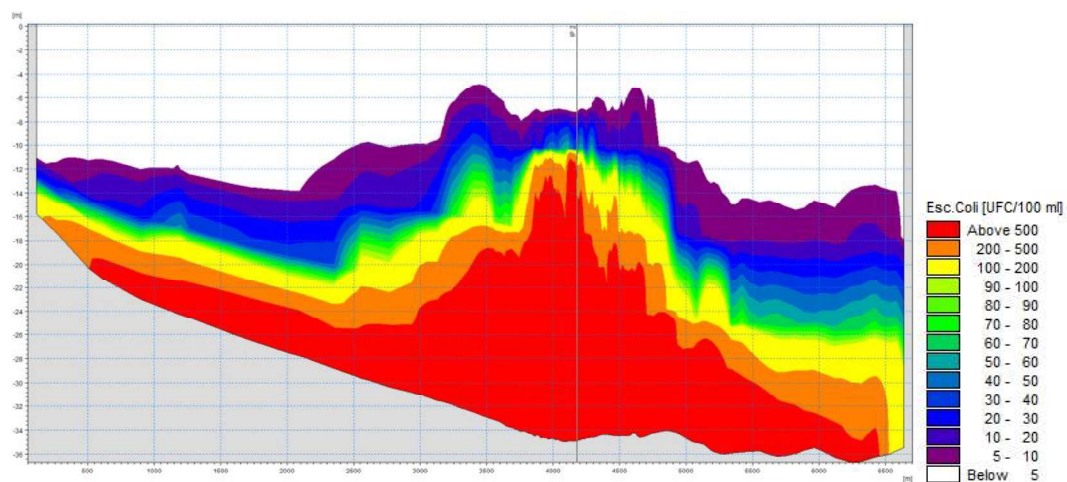


Figura 10.29 – Scarico di emergenza - Distribuzione verticale del plume lungo la direttrice di massima dispersione (da Nord-Est a Sud-Ovest) per la condizione di circolazione estiva – SCARICO IN EMERGENZA

11. SINTESI DELLO STUDIO E CONCLUSIONI

Nel presente studio sono state condotte analisi relative al clima meteomarinario del tratto di mare di interesse ed alle condizioni al contorno del modello è stata implementata una modellazione idrodinamica tridimensionale (MIKE 21/3 HD) con analisi dei moti avvevativi e dispersivi (MIKE 21/3 AD) ed idroecologica di trasporto, dispersione e decadimento della componente batterica (MIKE 21/3 Ecolab) relativamente alla condotta di sollevamento e scarico a mare dei reflui depurati dall'impianto di Terrarossa, sito nel comune di Monte Argentario.

Dette analisi hanno riguardato due periodi di riferimento, uno invernale ed uno estivo del 2023. Per quanto concerne il periodo invernale, le modellazioni hanno evidenziato come i regimi della corrente siano caratterizzati da circolazione prevalente da est verso ovest su tutta la colonna d'acqua, con locali fenomeni di ricircolo in prossimità dell'area di interesse dovuti alle variazioni morfologiche del fondale in corrispondenza delle isole. Tali trend sono confermati anche per lo scenario estivo, seppur caratterizzati da velocità leggermente inferiori rispetto al periodo invernale.

Sulla base delle analisi del regime idrodinamico sono state implementate analisi di trasporto degli inquinanti e di qualità e decadimento batterico. Dall'analisi del trasporto degli inquinanti si evince che nel periodo invernale il pennacchio risulta molto contenuto in ragione delle correnti idrodinamiche che, di fatto, diluiscono la concentrazione dell'effluente. Tale fenomeno di diluizione è meno evidente nello scenario estivo, in cui il pennacchio si propaga maggiormente rispetto alla condizione invernale seppur rimanendo anch'esso confinato al fondo e comunque interessando solo areali in prossimità dello scarico.

Le analisi di qualità e decadimento batterico, condotte relativamente alla componente batterica *Escherichia Coli*, sono state implementate in riferimento a due scenari: uno Scenario Ordinario, relativo alla concentrazione massima assentita dai titoli autorizzativi (5000 [UFC/100ml] nel periodo estivo, 50000 [UFC/100ml] nel periodo invernale), e uno Scenario di Emergenza, in cui si ipotizza una concentrazione allo scarico pari ai valori tipici attesi in ingresso all'impianto di Terrarossa, ovvero pari 290.000 [UFC/100ml], allo scopo di indagare uno scenario teorico di mancato funzionamento dell'impianto di depurazione.

Dall'analisi dei risultati si riscontra che in condizioni di scarico ordinario la simulazione sull'evento di riferimento invernale mostra una diffusione del plume di inquinanti coerente con l'idrodinamica prevalente, ovvero da Est a Ovest, con concentrazioni che rapidamente decrescono allontanandosi dal punto di scarico e risalendo lungo la colonna d'acqua. La massima estensione del plume rimane prevalentemente confinata negli strati profondi e comunque ben lontana dal paraggio di interesse. Comportamento analogo si osserva sul periodo di riferimento estivo con dinamiche del plume caratterizzato da andamento radiale attorno allo scarico confinato sul fondale con concentrazioni in rapida decrescita. In condizioni di emergenza (mancato funzionamento dell'impianto di depurazione), il plume di inquinanti risulta chiaramente marcatamente più esteso e risale in maniera significativa la colonna d'acqua andando a interessare anche gli strati superiori pur raggiungendo solo marginalmente e con concentrazioni minime la superficie. Le aree con concentrazioni superiori al limite di balneabilità rimangono comunque confinate sul fondale e al largo sia nello scenario di riferimento estivo che invernale, pur con differenti direzioni di propagazione, in analogia con le correnti.

È stata inoltre valutata la compatibilità di condotta di emergenza in loc. Cala Galera, alternativa alla condotta esistente, da prevedersi al fine di gestire scenari emergenziali nella gestione dei reflui, escludendo scarichi in laguna. Lo scenario di progetto prevede una condotta, di lunghezza circa pari a 3,4 [km] che scarichi i reflui a largo di Monte Argentario in corrispondenza della batimetrica 30 [m]. Questa configurazione di progetto è stata analizzata in termini di trasporto degli inquinanti e di qualità e decadimento batterico in analogia con quanto implementato per la condotta esistente.

Le analisi del modello di trasporto degli inquinanti mostrano che, come per lo scenario relativo alla condotta esistente, nel periodo invernale il pennacchio di inquinanti risulta contenuto in ragione delle correnti idrodinamiche che, di fatto, diluiscono la concentrazione dell'effluente. Tale fenomeno di diluizione è meno evidente nello scenario estivo, in cui il pennacchio si propaga maggiormente rispetto alla condizione invernale seppur rimanendo anch'esso confinato al fondo e comunque interessando solo areali in prossimità dello scarico.

Le analisi del trasporto e decadimento della componente batterica mostrano che in condizioni di scarico ordinario, in analogia con le simulazioni condotte sullo scarico esistente, anche ipotizzando il funzionamento dello scarico di emergenza, la simulazione sull'evento di riferimento invernale mostra una diffusione del plume coerente con l'idrodinamica prevalente, ovvero da Est a Ovest, con concentrazioni che rapidamente decrescono allontanandosi dal punto di scarico e risalendo lungo la colonna d'acqua. La massima estensione del plume rimane prevalentemente confinata negli strati profondi e comunque lontana dal paraggio di interesse. Comportamento analogo si osserva sul periodo di riferimento estivo con dinamiche del plume caratterizzato da andamento radiale attorno allo scarico confinato sul fondale con concentrazioni in rapida decrescita.

In condizioni di mancato funzionamento dell'impianto di depurazione ed utilizzo della condotta di progetto, il plume risulta chiaramente marcatamente più esteso e risale in maniera significativa la colonna d'acqua andando a interessare, sul periodo di riferimento invernale, anche gli strati superficiali, pur con concentrazioni molto limitate e ben al di sotto del limite di balneabilità.

Comportamento analogo si registra sul periodo estivo pur con differenti direzioni di propagazione, in analogia con le correnti, e senza raggiungere gli strati superficiali.

Non sono stati valutati nella presente analisi gli effetti a mare degli scolmatori presenti né degli scarichi lagunari del canale di Ansedonia e del Canale della Tagliata.

BIBLIOGRAFIA

MARINE COPERNICUS - Mediterranean Sea Physical Reanalysis Product: MEDSEA MULTIYEAR PHY 006 004

- Escudier, R., Clementi, E., Omar, M., Cipollone, A., Pistoia, J., Aydogdu, A., Drudi, M., Grandi, A., Lyubartsev, V., Lecci, R., Cretí, S., Masina, S., Coppini, G., & Pinardi, N. (2020). Mediterranean Sea Physical Reanalysis (CMEMS MED-Currents) (Version 1) [Data set]. Copernicus Monitoring Environment Marine Service (CMEMS). https://doi.org/10.25423/CMCC/MEDSEA_MULTIYEAR_PHY_006_004_E3R1
- Escudier, R., Clementi, E., Cipollone, A., Pistoia, J., Drudi, M., Grandi, A., Lyubartsev, V., Lecci, R., Aydogdu, A., Delrosso, D., Omar, M., Masina, S., Coppini, G., Pinardi, N. (2021). A High Resolution Reanalysis for the Mediterranean Sea. *Frontiers in Earth Science*, 9, 1060, <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/feart.2021.702285>, DOI=10.3389/feart.2021.702285
- Nigam, T., Escudier, R., Pistoia, J., Aydogdu, A., Omar, M., Clementi, E., Cipollone, A., Drudi, M., Grandi, A., Mariani, A., Lyubartsev, V., Lecci, R., Cretí, S., Masina, S., Coppini, G., & Pinardi, N. (2021). Mediterranean Sea Physical Reanalysis INTERIM (CMEMS MED-Currents, E3R1i system) (Version 1) [Data set]. Copernicus Monitoring Environment Marine Service (CMEMS). https://doi.org/10.25423/CMCC/MEDSEA_MULTIYEAR_PHY_006_004_E3R1I

PRODUCT USER MANUAL:

Escudier, R., Clementi, E., Omar, M., Cipollone, A., Pistoia, J., Aydogdu, A., Drudi, M., Grandi, A., Lyubartsev, V., Lecci, R., Cretí, S., Masina, S., Coppini, G., & Pinardi, N. (2020). Mediterranean Sea Physical Reanalysis (CMEMS MED-Currents, E3R1 system) (Version 1) [Data set]. Copernicus Monitoring Environment Marine Service (CMEMS). https://doi.org/10.25423/CMCC/MEDSEA_MULTIYEAR_PHY_006_004_E3R1

Nigam, T., Escudier, R., Pistoia, J., Aydogdu, A., Omar, M., Clementi, E., Cipollone, A., Drudi, M., Grandi, A., Mariani, A., Lyubartsev, V., Lecci, R., Cretí, S., Masina, S., Coppini, G., & Pinardi, N. (2021). Mediterranean Sea Physical Reanalysis INTERIM (CMEMS MED-Currents, E3R1i system) (Version 1) [Data set]. Copernicus Monitoring Environment Marine Service (CMEMS). https://doi.org/10.25423/CMCC/MEDSEA_MULTIYEAR_PHY_006_004_E3R1I

Quality Information Document (QUID) CMEMS-MED-QUID-006-004

(<https://catalogue.marine.copernicus.eu/documents/QUID/CMEMS-MED-QUID-006-004.pdf>).

QUALITY INFORMATION DOCUMENT:

Escudier, R., Clementi, E., Omar, M., Cipollone, A., Pistoia, J., Aydogdu, A., Drudi, M., Grandi, A., Lyubartsev, V., Lecci, R., Cretí, S., Masina, S., Coppini, G., & Pinardi, N. (2020). Mediterranean Sea Physical Reanalysis (CMEMS MED-Currents) (Version 1) [Data set]. Copernicus Monitoring Environment Marine Service (CMEMS). https://doi.org/10.25423/CMCC/MEDSEA_MULTIYEAR_PHY_006_004_E3R1

Nigam, T., Escudier, R., Pistoia, J., Aydogdu, A., Omar, M., Clementi, E., Cipollone, A., Drudi, M., Grandi, A., Mariani, A., Lyubartsev, V., Lecci, R., Cretí, S., Masina, S., Coppini, G., & Pinardi, N. (2021). Mediterranean Sea Physical Reanalysis INTERIM (CMEMS MED-Currents, E3R1i system) (Version 1). Copernicus Monitoring Environment Marine Service (CMEMS). https://doi.org/10.25423/CMCC/MEDSEA_MULTIYEAR_PHY_006_004_E3R1I

MARINE COPERNICUS - Mediterranean Sea Physics Analysis and Forecast: MEDSEA ANALYSISFORECAST PHY 006 013

Clementi, E., Aydogdu, A., Goglio, A. C., Pistoia, J., Escudier, R., Drudi, M., Grandi, A., Mariani, A., Lyubartsev, V., Lecci, R., Cretí, S., Coppini, G., Masina, S., & Pinardi, N. (2021). Mediterranean Sea Physical Analysis and Forecast (CMEMS MED-Currents, EAS6 system) (Version 1) [Data set]. Copernicus Monitoring Environment Marine Service (CMEMS). https://doi.org/10.25423/CMCC/MEDSEA_ANALYSISFORECAST_PHY_006_013_EAS8

PRODUCT USER MANUAL:

Clementi, E., Drudi, M., Aydogdu, A., Moulin, A., Grandi, A., Mariani, A., Goglio, A. C., Pistoia, J., Miraglio, P., Lecci, R., Palermo, F., Coppini, G., Masina, S., & Pinardi, N. (2023). Mediterranean Sea Physical Analysis and Forecast (CMS MED-Physics, EAS8 system) (Version 1) [Data set]. Copernicus Marine Service (CMS). https://doi.org/10.25423/CMCC/MEDSEA_ANALYSISFORECAST_PHY_006_013_EAS8

Quality Information Document (QUID) CMEMS-MED-QUID-006_013 (CMEMS-MED-QUID-006-013.pdf (copernicus.eu)).

- Borile F., (2022). Towards a broader understanding of the effects of tidal forcing on the global ocean circulation. PhD thesis, University of Bologna, 139 pp. DOI: 10.48676/unibo/amsdottorato/10329
- Carrere L., F. Lyard, M. Cancet, A. Guillot, N. Picot (2016): FES 2014, a new tidal model – Validation results and perspectives for improvements, presentation to ESA Living Planet Conference, Prague
- Clementi, E., Pistoia, J., Delrosso, D., Mattia, G., Fratianni, C., Storto, A., Ciliberti, S., Lemieux, B., Fenu, E., Simoncelli, S., Drudi, M., Grandi, A., Padeletti, D., Di Pietro, P., Pinardi, N., (2017a). A 1/24 degree resolution Mediterranean analysis and forecast modelling system for the Copernicus Marine Environment Monitoring Service. Extended abstract to the 8th EuroGOOS Conference, Bergen.
- Clementi, E., Oddo, P., Drudi, M., Pinardi, N., Korres, G., Grandi A., (2017b). Coupling hydrodynamic and wave models: first step and sensitivity experiments in the Mediterranean Sea. Ocean Dynamics. doi: <https://doi.org/10.1007/s10236-017-1087-7>.
- Desroziers, G., Berre, L., Chapnik, B. and Poli, P., (2005). Diagnosis of observation, background and analysis-error statistics in observation space. Q.J.R. Meteorol. Soc. 131: 3385–3396. doi: 10.1256/qj.05.108.
- Dobricic Srdjan, and Nadia Pinardi (2008). An oceanographic three-dimensional variational data assimilation scheme. Ocean Modelling, 22 (3-4) 89-105.
- Dobricic, S., Pinardi, N., Adani, M., Tonani, M., Fratianni, C., Bonazzi, A., Fernandez, V., (2007). Daily oceanographic analyses by Mediterranean Forecasting System at the basin scale. Ocean Sci., 3, 149-157.
- Dobricic, Srdjan (2005). New mean dynamic topography of the mediterranean calculated from assimilation system diagnostic. GRL, 32.
- Dombrowsky, E., Bertino, L., Brassington, G.B., Chassignet, E.P., Davidson, F., Hurlburt, H.E., Kamachi, M., Lee, T., Martin, M.J., Mei, S., Tonani M., (2009). GODAE Systems in operation, Oceanography, Volume 22-3, 83,95.
- Drevillon, M., Bourdalle-Badie, R., Derval, C., Drillet, Y., Lelouche, J. M., Remy, E., Tranchant, B., Benkiran, M., Greiner, E., Guinehut, S., Verbrugge, N., Garric, G., Testut, C. E., Laborie, M., Nouel, L., Bahurel, P., Bricaud, C., Crosnier, L., Dombrosky, E., Durand, E., Ferry, N., Hernandez, F., Le Galloudec, O., Messal, F., Parent, L. (2008). The GODAE/MercatorOcean global ocean forecasting system: results, applications and prospects, J. Operational Oceanogr., 1(1), 51–57.
- Estubier A., and Levy M., (2000). Quel schema numerique pour le transport d'organismes biologiques par la circulation oceanique. Note Techniques du Pole de modelisation, Institut Pierre-Simon Laplace, pp 81
- Egbert, Gary D., and Svetlana Y. Erofeeva (2002). Efficient inverse modeling of barotropic ocean tides. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology 19.2: 183-204
- Fekete, B. M., Vorosmarty, C. J., Grabs, W., (1999). Global, Composite Runoff Fields Based on Observed River Discharge and Simulated Water Balances, Tech. Rep. 22, Global Runoff Data Cent., Koblenz, Germany.
- Flather, R.A. (1976). A tidal model of the northwest European continental shelf. Memories de la Societe Royale des Sciences de Liege 6 (10), 141–164
- Gunther, H., Hasselmann, H., Janssen, P.A.E.M., (1993). The WAM model cycle 4, DKRZ report n. 4.
- Hasselmann, K. (1974). On the characterization of ocean waves due to white capping, Boundary-Layer Meteorology, 6, 107-127.
- Hasselmann, S., and Hasselmann, K. (1985). Computations and parameterizations of the nonlinear energy transfer in a gravity wave spectrum. Part I: A new method for efficient computations of the exact nonlinear transfer integral, J. Phys. Ocean., 15, 1369-1377.
- Hasselmann, S., Hasselmann, K., Allender, J.H., Barnett, T.P., (1985). Computations and parameterizations of the nonlinear energy transfer in a gravity wave spectrum. Part II: Parameterizations of the nonlinear energy transfer for application in wave models, J. Phys. Ocean., 15, 1378-1391.
- Houpert, L., Testor, P., Durieu De Madron, X., (2015). Gridded climatology of the Mixed Layer (Depth and Temperature), the bottom of the Seasonal Thermocline (Depth and Temperature), and the upper- ocean Heat Storage Rate for the Mediterrean Sea. SEANOE. <http://doi.org/10.17882/46532>
- Janssen, P.A.E.M. (1989). Wave induced stress and the drag of air flow over sea wave, J. Phys. Ocean., 19, 745-754.

- Janssen, P.A.E.M. (1991). Quasi-Linear theory of wind wave generation applied to wave forecasting, *J. Phys. Ocean.*, 21, 1631-1642.
- Komen, G.J., Hasselmann, S., Hasselmann, K., (1984). On the existence of a fully developed windsea spectrum, *J. Phys. Ocean.*, 14, 1271-1285.
- Kourafalou, V.H., and Barbopoulos, K., (2003). High resolution simulations on the North Aegean Sea seasonal circulation, *Ann. Geophys.*, 21, 251–265.
- Lynch, D.R and W.G. Gray (1979). A wave equation model for finite element tidal computations. In: *Computers & fluids* 7.3, pp. 207–228.
- Maraldi C., Chanut, J., Levier, B., Ayoub, N., De Mey, P., Refray, G., Lyard, F., Cailleau, S., Dré villon, M., Fanjul, E.A., Sotillo, M.G., Marsaleix, P., and the Mercator Research and Development Team (2013).
- NEMO on the shelf: assessment of the Iberia–Biscay–Ireland configuration. *Ocean Sci.*, 9, 745–771.
- Madec, G. and the NEMO System Team, 2023. NEMO Ocean Engine Reference Manual, Zenodo, <https://doi.org/10.5281/zenodo.8167700>.
- Maderich V., Ilyin Y., Lemeshko E., 2015. Seasonal and interannual variability of the water exchange in the Turkish Straits System estimated by modelling. *Mediterranean Marine Science*, [S.l.], v. 16, n. 2, p. 444-459, ISSN 1791-6763, doi:<http://dx.doi.org/10.12681/mms.1103>.
- Marchesiello, P., McWilliams, J. C., Shchepetkin, A., (2001). Open boundary conditions for long-term integration of regional oceanic models. *Ocean modelling*, 3(1), 1-20.
- Oddo, P., Adani, M., Pinardi, N., Fratianni, C., Tonani, M., Pettenuzzo, D., (2009). A Nested Atlantic- Mediterranean Sea General Circulation Model for Operational Forecasting. *Ocean Sci.*, 5, 461–473, <https://doi.org/10.5194/os-5-461-2009>, 2009.
- Oddo, P., Bonaduce, A., Pinardi, N., Guarnieri, A., (2014) Sensitivity of the Mediterranean sea level to atmospheric pressure and free surface elevation numerical formulation in NEMO. *Geosci. Model Dev.*, 7, 3001–3015.
- Palma M.et al. (2020). Short-term, linear, and non-linear local effects of the tides on the surface dynamics in a new, high-resolution model of the Mediterranean Sea circulation. *Ocean Dynamics*, 70. DOI: 10.1007/s10236-020-01364-6
- Pinardi, N., Allen, I., De Mey, P., Korres, G., Lascaratos, A., Le Traon, P.Y., Maillard, C., Manzella G., Tziavos, C., (2003). The Mediterranean ocean Forecasting System: first phase of implementation (1998- 2001). *Ann. Geophys.*, 21, 1, 3-20.
- Pistoia, J., Clementi, E., Delrosso, D., Mattia, G., Fratianni, C., Drudi, M., Grandi, A., Padeletti, D., Di Pietro, P., Storto, A., Pinardi., N., (2017). Last improvements in the data assimilation scheme for the Mediterranean Analysis and Forecast system of the Copernicus Marine Service. Extended abstract to the 8th EuroGOOS Conference, Bergen.
- Pacanowsky, R.C., and Philander S.G.H., (1981) Parameterization of vertical mixing in numerical models of tropical oceans. *J Phys Oceanogr* 11:1443-1451
- Pettenuzzo, D., Large, W.G., Pinardi, N., (2010) On the corrections of ERA-40 surface flux products consistent with the Mediterranean heat and water budgets and the connection between basin surface total heat flux and NAO. *Journal of Geophysical Research* 115, C06022, doi:10.1029/2009JC005631
- Provini, A., Crosa, G., Marchetti, R., (1992). Nutrient export from Po and Adige river basins over the last 20 years. *Sci. Total Environ; suppl.*: 291-313
- Raichich, F. (1996). On fresh water balance of the Adriatic Sea, *J. Mar. Syst.*, 9, 305–319.
- Rio, M.-H., Pascual, A., Poulain, P.-M., Menna, M., Barceló, B., Tintoré, J., (2014). Computation of a new mean dynamic topography for the Mediterranean Sea from model outputs, altimeter measurements and oceanographic in situ data. *Ocean Science*, 10, 731-744.

- Roullet, G., and Madec G., (2000). Salt conservation, free surface, and varying levels: a new formulation for ocean general circulation models. *J.G.R.*, 105, C10, 23,927-23,942.
- Shakespeare, C. J., Arbic, B. K., and Hogg, A. M. (2020). The drag on the barotropic tide due to the generation of baroclinic motion. *Journal of Physical Oceanography*, 50:3467–3481.
- Soto-Navarro, J., Criado-Aldeanueva, F., Garci-Lafuente, J., Sanchez-Roman, A., (2010). Estimation of the Atlantic inflow through the Strait of Gibraltar from climatological and in situ data. *J. Geophysics Research*, 10.1029/2010JC006302
- Storto, A., Masina, S., Navarra, A., (2016). Evaluation of the CMCC eddy-permitting global ocean physical reanalysis system (CGLORS, 1982-2012) and its assimilation components. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 142, 738–758, doi: 10.1002/qj.2673.
- Tolman H.L. (2002). Validation of WAVEWATCH III version 1.15 for a global domain. NOAA / NWS / NCEP / OMB Technical Note 213, 33pp, https://polar.ncep.noaa.gov/mmab/papers/tn213/OMB_213.pdf.
- Tonani, M., Balmaseda, M., Bertino, L., Blockley, E., Brassington, G., Davidson, F., Drillet, Y., Hogan, P., Kuragano, T., Lee, T., Mehra, A., Paranathara, F., Tanajura, CAS, Wang, H., (2015) Status and future of global and regional ocean prediction systems. *J Operational Oceanography* 8:201-220, doi:10.1080/1755876X.2015.1049892.
- Tonani, M., Teruzzi, A., Korres, G., Pinardi, N., Crise, A., Adani, M., Oddo, P., Dobricic, S., Fratianni, C., Drudi, M., Salon, S., Grandi, A., Girardi, G., Lyubartsev, V., Marino, S., (2014). The Mediterranean Monitoring and Forecasting Centre, a component of the MyOcean system. *Proceedings of the 6th Int.*
- Conference on EuroGOOS 4-6 October 2011, Sopot, Poland. Edited by H. Dahlin, N.C. Fleming and S. E. Petersson. First published 2014. Eurogoos Publication no. 30. ISBN 978-91-974828-9-9.
- Tonani, M., Pinardi, N., Dobricic, S., Pujol, I., Fratianni, C., (2008). A high-resolution free-surface model of the Mediterranean Sea. *Ocean Sci.*, 4, 1-14
- Tonani, M., Simoncelli, S., Grandi, A., Pinardi, N., (2013). New gridded climatologies, from in-situ observations, for the Mediterranean Sea. Abstract to IMDIS 2013.
https://imdis.seadatanet.org/content/download/93851/1140805/file/SDN2_D64_WP6_IMDIS2013_proceedings_abstracts.pdf
- Tsimplis, M.N., Proctor, R., Flather, R. A. (1995). Two-dimensional tidal model for the Mediterranean Sea. *J. of Geophysical Research*. <https://doi.org/10.1029/95JC01671>
- Van Leer, B. (1979) Towards the Ultimate Conservative Difference Scheme, V. A Second Order Sequel to Godunov's Method. *J Comp Phys* 32:101-136
- WAVEWATCH III® Development Group (2019). User manual and system documentation of WAVEWATCH III version 6.07. Tech. Note 333, NOAA/NWS/NCEP/MMAB, Tech. rep., College Park, MD, USA. <https://raw.githubusercontent.com/wiki/NOAA-EMC/WW3/files/manual.pdf>

METOCEAN:

MetOcean Data Portal: Enhance workflows with access to 40 years of metocean data

Reliable metocean data is vital for safety, engineering, operations, environmental assessments, energy projects and coastal management. But finding dependable data is a challenge.

Supercharge your data gathering, analysis and reporting with the game-changing MetOcean Data Portal. Gain subscription-based access to an extensive 40-year archive of global metocean data, transforming the way you work. Say goodbye to frustrating searches for trustworthy data and hello to a user-friendly platform that puts accurate wind, wave, water level and current data at your fingertips. Effortlessly retrieve the information you need through our intuitive interface and seamless API integration. Save precious time and unlock the confidence of having reliable data to fuel the success of your projects.

Per un approfondimento:

<https://www.dhigroup.com/technologies/metocean-data-portal>

https://www.dhigroup.com/upload/publications/misc/OilAndGas_SolutionFlyer_Metocean%20Data.pdf

MIKE 21 and MIKE 3

MIKE 21 and MIKE 3 are advanced software suites for simulating and analysing water flow, currents, wave conditions, and processes in marine and coastal environments. With robust visualisation tools and data management capabilities, these software solutions empower users to effectively interpret simulation results. Widely embraced by engineers, scientists, and environmental professionals, they find application in coastal engineering, water resource management, environmental impact assessment, and climate change adaptation planning.

MIKE 21 specialises in two-dimensional (2D) modelling, offering precise simulations of water flow and movement in coastal areas, estuaries, and rivers. It enables accurate predictions of water levels, currents, temperature variations, and flood occurrences, excelling in managing intricate bathymetry and external forces like wind effects.

Conversely, MIKE 3 extends hydrodynamic modelling capabilities into three dimensions (3D), providing an exhaustive understanding of water flow dynamics. It addresses phenomena such as wave-induced currents, storm surges, and weather-related influences, proving indispensable for detailed environmental evaluations, particularly in complex marine settings.

➤ **MIKE 3 FLOW MODEL HD FM - MIKE 3 Advection-Dispersion Model (AD) 3D hydrodynamic modeling using flexible mesh**

The Hydrodynamic (HD) module in both MIKE 21 and MIKE 3 solves the equations for the conservation of mass and momentum as well as for salinity and temperature in response to a variety of forcing functions. With the HD module, you can:

- Specify a variety of hydrographic boundary conditions, initial conditions, bed resistance and wind forcing
- Include different types of sources and sinks as well as different structures
- Treat density variations in different manners
- Include radiation stresses from wave simulations
- Choose from rectangular grid, nested grids or flexible meshes
- Seamlessly integrates with other modules for coupled modelling.

<https://www.dhigroup.com/technologies/mikepoweredbydhi/mike-21-3>

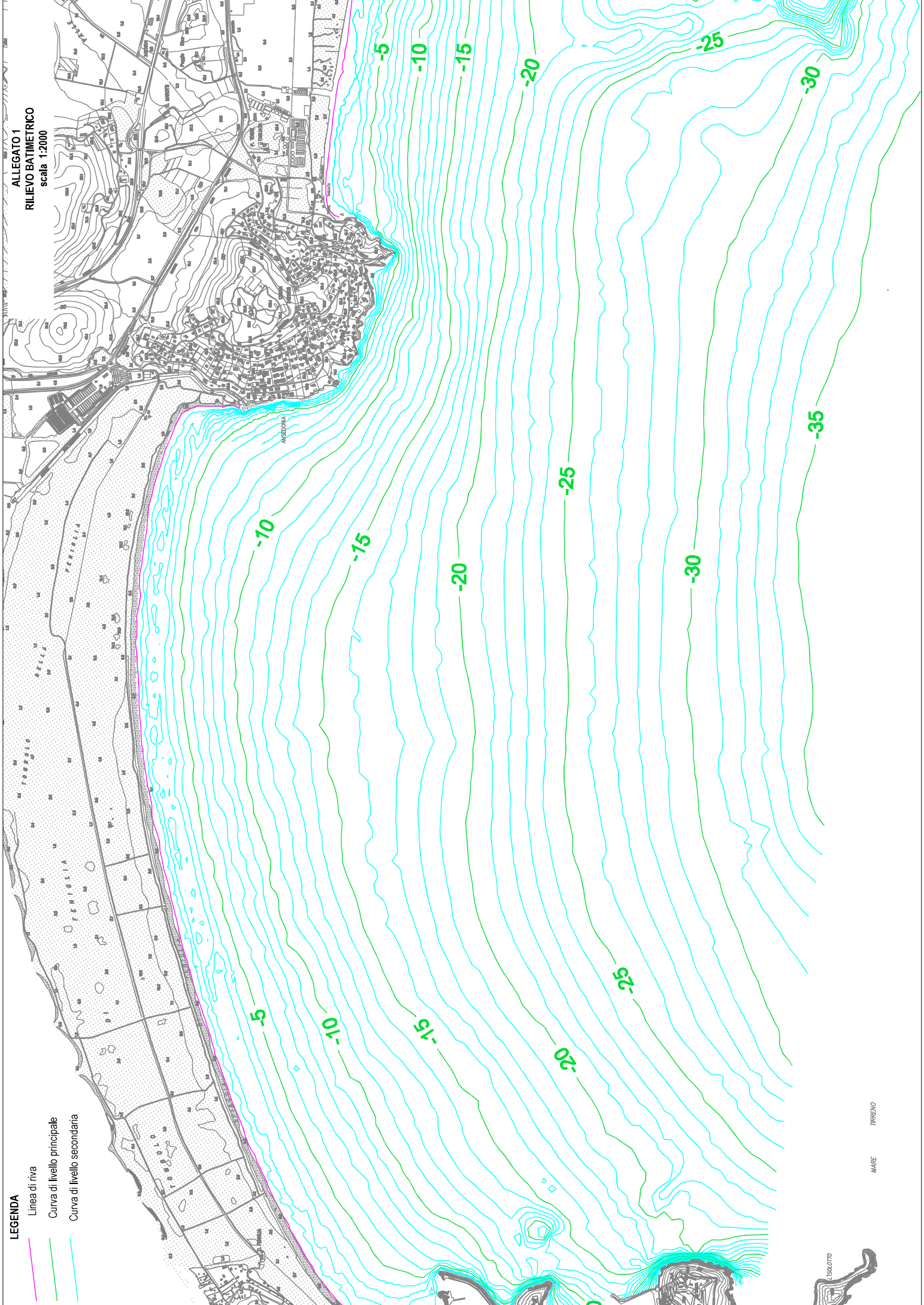
https://manuals.mikepoweredbydhi.help/latest/Coast_and_Sea/MIKE_FM_HD_3D.pdf

➤ **MIKE ECO Lab**

MIKE ECO Lab is a versatile software tool that facilitates ecological modelling and environmental impact assessments across aquatic ecosystems. Tailored for simulating and analysing the intricate dynamics of marine, freshwater, and estuarine environments, it empowers users to model diverse ecological processes like nutrient cycling, primary production, and plankton dynamics. Leveraging advanced algorithms, MIKE ECO Lab accurately simulates the behavior and distribution of aquatic organisms, encompassing phytoplankton, zooplankton, fish, and benthic organisms.

Rely on MIKE ECO Lab for a wide range of applications including environmental impact assessments, ecosystem management, water quality modeling, and fisheries management. Its user-friendly interface and powerful modelling capabilities, enables scientists, environmental consultants, and decision-makers to assess the impact of human activities, climate change, and pollution on aquatic ecosystems, and to develop sustainable management strategies.

ALLEGATO 1 – RILIEVO BATIMETRICO



LEGENDA

- Linea di riva
- Curva di livello principale
- Curva di livello secondaria

ALLEGATO 1
RILIEVO BATIMETRICO
scala 1:2000

MARE TIRRENO

7350 LOTTO