

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA	REL-AMB-E-09108	
	DOCUMENTO Studio a supporto del dragaggio dei fondali in corrispondenza del pontile per le navi metaniere di Panigaglia (SP) Studio modellistico di dispersione dei sedimenti	Fg. 1 di 154	Rev. 00

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-108



AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA STUDIO PRELIMINARE AMBIENTALE

ai sensi dell'art. 19 del D.Lgs. 152/06 e s.m.i.

Annesso 8

Studio modellistico di dispersione dei sedimenti durante l'attività di dragaggio

00	Emissione per Permessi	PP / MS	MS	NF	Marzo 2024
Rev.	Descrizione	Elaborato	Verificato	Approvato	Data

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA	REL-AMB-E-09108	
	DOCUMENTO Studio a supporto del dragaggio dei fondali in corrispondenza del pontile per le navi metaniere di Panigaglia (SP) Studio modellistico di dispersione dei sedimenti	Fg. 2 di 154	Rev. 00

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-108

INDICE

1.	INTRODUZIONE	3
2.	APPROCCIO METODOLOGICO	3
3.	INQUADRAMENTO DEL SITO	4
3.1.	Dati batimetrici	6
3.2.	Caratterizzazione sedimentologica del fondale	7
3.3.	Dati di circolazione generale	9
3.4.	Dati di marea	11
3.5.	Condizioni atmosferiche locali	12
3.6.	Apporti dai corsi d'acqua	13
3.7.	Scarico della centrale Enel	15
4.	SCELTA DEGLI SCENARI DI MODELLAZIONE	16
5.	MODELLO 3D DI CIRCOLAZIONE	17
5.1.	Dominio di calcolo e risoluzione	18
5.2.	Condizioni iniziali e al contorno, parametri del modello	21
5.3.	Risultati del modello idrodinamico	23
6.	MODALITÀ OPERATIVE DI DRAGAGGIO	30
7.	MODELLO 3D DI DISPERSIONE DEI SEDIMENTI	31
7.1.	Definizione dell'unità operativa di dragaggio	32
7.2.	Implementazione del modello di dispersione dei sedimenti	34
7.3.	Risultati del modello di dispersione dei sedimenti	37
7.3.1.	Risultati relativi al dragaggio di tipo meccanico	42
7.3.2.	Risultati relativi al dragaggio di tipo idraulico	48
7.4.	Riduzione del rateo di escavo	54
8.	CONCLUSIONI	61
9.	BIBLIOGRAFIA	63
10.	ALLEGATI	64

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA	REL-AMB-E-09108	
	DOCUMENTO Studio a supporto del dragaggio dei fondali in corrispondenza del pontile per le navi metaniere di Panigaglia (SP) Studio modellistico di dispersione dei sedimenti	Fg. 3 di 154	Rev. 00

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-108

1. INTRODUZIONE

Oggetto del presente studio è la predisposizione di attività modellistiche volte alla valutazione degli effetti, in termini di concentrazione di solidi sospesi, delle operazioni di dragaggio previste nell'ambito del progetto di Ammodernamento e Adeguamento dell'Impianto GNL di Panigaglia, all'interno della rada di La Spezia.

Nello specifico, lo studio riguarda l'individuazione delle dinamiche di dispersione in mare dei sedimenti immessi nell'ambiente acquatico durante il dragaggio, con l'obiettivo di verificare la trascurabilità degli effetti in corrispondenza di due target sensibili all'interno della rada: l'allevamento ittico e gli allevamenti di mitili posti a breve distanza dal sito in cui è previsto il dragaggio.

Di seguito vengono brevemente riassunte le principali fasi in cui si è sviluppato il presente lavoro:

- inquadramento del sito: caratterizzazione batimetrica e sedimentologica del fondale, descrizione del regime di circolazione marina e condizioni atmosferiche nella zona di interesse (sezione 3);
- selezione di due scenari idrodinamici reali tipici e rappresentativi di un periodo invernale e di uno estivo. I periodi sono selezionati facendo riferimento ai dati di vento, che rappresenta il principale responsabile delle dinamiche interne alla rada (sezione 4);
- caratterizzazione delle condizioni idrodinamiche di dettaglio mediante l'applicazione del modello numerico MIKE 3 HD – *Hydrodynamics* [1]. L'approccio seguito è a scenari reali di medio periodo, per una valutazione della variabilità intra e infra-giornaliera delle correnti, attraverso l'inclusione di forzanti realistiche (sezione 5);
- descrizione dell'area soggetta alla movimentazione dei sedimenti, delle modalità operative di dragaggio e delle tipologie di draghe (benna ambientale e sorbona) ipotizzate per la realizzazione delle operazioni (sezione 6);
- modellazione 3D della dispersione dei sedimenti mediante l'applicazione del modello numerico MIKE 3 MT – *Mud Transport* [2]. Il modello è stato implementato per una finestra temporale rappresentativa di una "unità operativa" ed in riferimento al dragaggio di tipo meccanico (con benna ambientale) ed al dragaggio di tipo idraulico (con la sorbona).

2. APPROCCIO METODOLOGICO

La corretta rappresentazione delle dinamiche dispersive dei sedimenti non può prescindere dalla conoscenza del regime di circolazione marina nella zona di interesse. A tal fine, viene predisposto un modello idrodinamico locale ad alta risoluzione, come *downscaling* di un modello a più ampia scala ("modello padre"), caratterizzato da medio-bassa risoluzione. Per il presente studio, come modello padre è stato utilizzato quello di circolazione del Mare Mediterraneo, disponibile nell'ambito del servizio Europeo CMEMS (Copernicus Marine Environment Monitoring Service) [3]. I campi di corrente, temperatura, salinità ed elevazione della superficie libera forniti da tale modello di circolazione generale rappresentano le condizioni iniziali ed al contorno necessarie per risolvere in forma numerica le equazioni che governano l'evoluzione nel tempo e nello spazio di queste grandezze all'interno del modello ad alta risoluzione appositamente implementato per lo scopo di questo studio, sviluppato con il codice di calcolo MIKE 3 HD - *Hydrodynamics* [1].

L'approccio adottato fa riferimento a scenari reali (ovvero rappresentativi della variabilità spazio-temporale dell'idrodinamica) di medio periodo (finestre temporali di due settimane), uno relativo alla stagione estiva ed uno a quella invernale. Questa metodologia permette di considerare pertanto la

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA	REL-AMB-E-09108	
	DOCUMENTO Studio a supporto del dragaggio dei fondali in corrispondenza del pontile per le navi metaniere di Panigaglia (SP) Studio modellistico di dispersione dei sedimenti	Fg. 4 di 154	Rev. 00

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-108

naturale variabilità delle condizioni idrodinamiche, rendendo possibile un'analisi realistica dell'evoluzione temporale della dispersione dei sedimenti durante le fasi di dragaggio.

Seguendo un approccio largamente utilizzato per studi di questo tipo, il modello di dispersione dei sedimenti (MIKE 3 MT – *Mud Transport* [2]) è stato implementato per una finestra temporale rappresentativa di una “unità operativa”, per la cui definizione si è seguito l’approccio proposto da Feola et al, 2016 [4], replicata in due zone all’interno dell’area complessiva da dragare, scelte in quanto le più critiche in termini di vicinanza con i target sensibili. La disponibilità di 14 giorni di condizioni idrodinamiche locali ha permesso di condurre le simulazioni di dispersione e trasporto dei sedimenti secondo un approccio a “finestre mobili”, come suggerito dalle linee guida ISPRA [5]: è stato infatti predisposto un elevato numero di simulazioni ipotizzando la finestra rappresentativa delle lavorazioni in diversi momenti del periodo idrodinamico disponibile, al fine di considerare un’elevata variabilità idrodinamica infra e intra giornaliera. Nel caso specifico sono state eseguite, per ciascun scenario idrodinamico (invernale ed estivo) e per ciascuna area studiata, 8 simulazioni in riferimento al dragaggio meccanico con benna ambientale, e 14 simulazioni in riferimento al dragaggio idraulico con la sorbona, per un totale di 88 simulazioni. Le stesse simulazioni effettuate per il dragaggio meccanico (per un totale di 32 simulazioni) sono state replicate considerando una riduzione del rateo di escavo al fine di valutare gli effetti in termini di diminuzione della concentrazione di solidi sospesi in corrispondenza dei target sensibili (sezione 7).

3. INQUADRAMENTO DEL SITO

Il sito oggetto del presente studio è il tratto di mare del Golfo della Spezia, delimitato ad Est dal promontorio di Monte Marcello e ad Ovest da Portovenere e ulteriormente protetto a Ponente dalla presenza dell’isola della Palmaria, dell’isolotto del Tino e dello scoglio del Tinetto.

A Sud, la rada della Spezia è protetta dalla presenza della diga foranea che approssimativamente si estende dalla punta del Varignano alla punta di Santa Teresa, per una lunghezza complessiva di circa 2.5 km. Ai due lati di tale struttura sono presenti le bocche di ingresso (quella di Ponente è ampia circa 480 m, mentre quella di Levante circa 200 m) che garantiscono l’accesso al porto, nonché favoriscono il naturale ricambio idrico dello specchio acqueo.

Le condizioni della qualità dell’acqua all’interno della diga sono influenzate anche dalla presenza di numerosi scarichi civili ed industriali (tra cui il principale relativo alla centrale Enel) e delle attività portuali.

All’interno della rada sono presenti sia un impianto di itticoltura che un impianto di mitili. L’impianto di itticoltura è una tipologia di impianto *in-shore* per l’allevamento di orate e branzini, ubicato in località Punta Pezzino nel golfo delle Grazie; l’allevamento di mitili, consiste in una serie di vivai di ampiezza variabile tra i cinquecento e i duemila metri quadrati posti all’interno della rada contigui alla diga foranea. La posizione dei due allevamenti è mostrata in Figura 3-2.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA	REL-AMB-E-09108	
	DOCUMENTO Studio a supporto del dragaggio dei fondali in corrispondenza del pontile per le navi metaniere di Panigaglia (SP) Studio modellistico di dispersione dei sedimenti	Fg. 5 di 154	Rev. 00

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-108

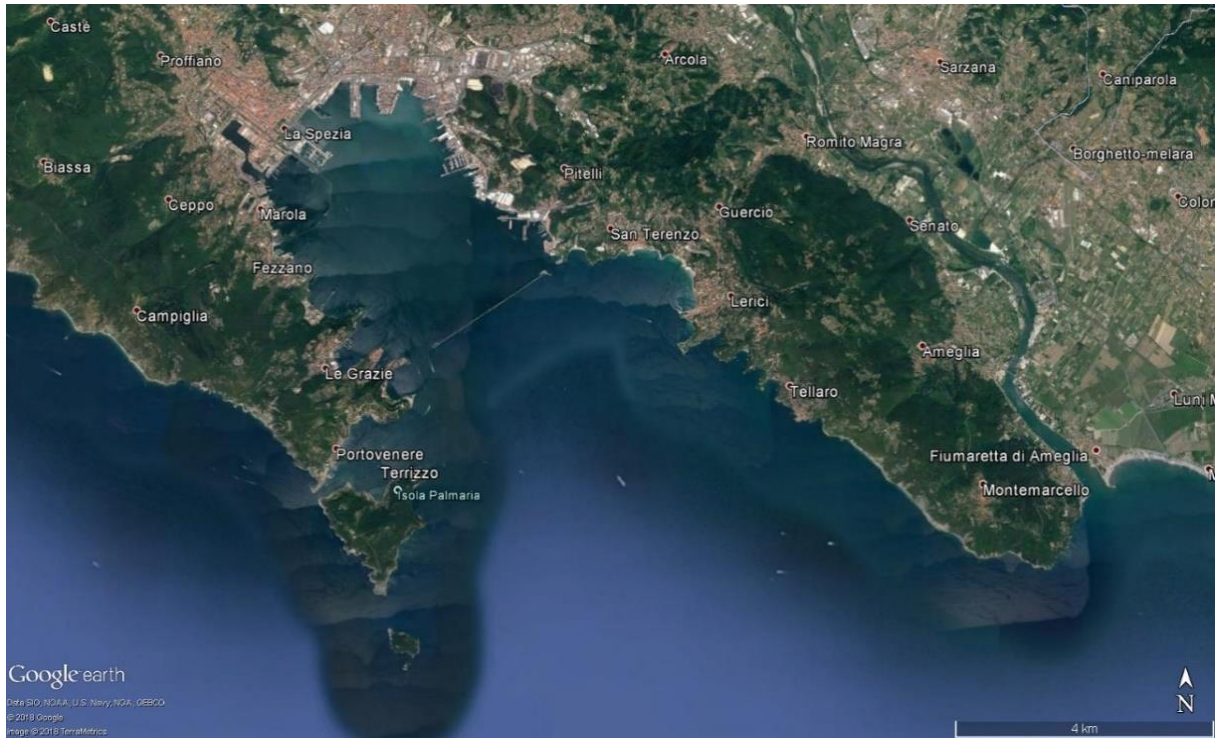


Figura 3-1 Inquadramento dell'area oggetto dello studio

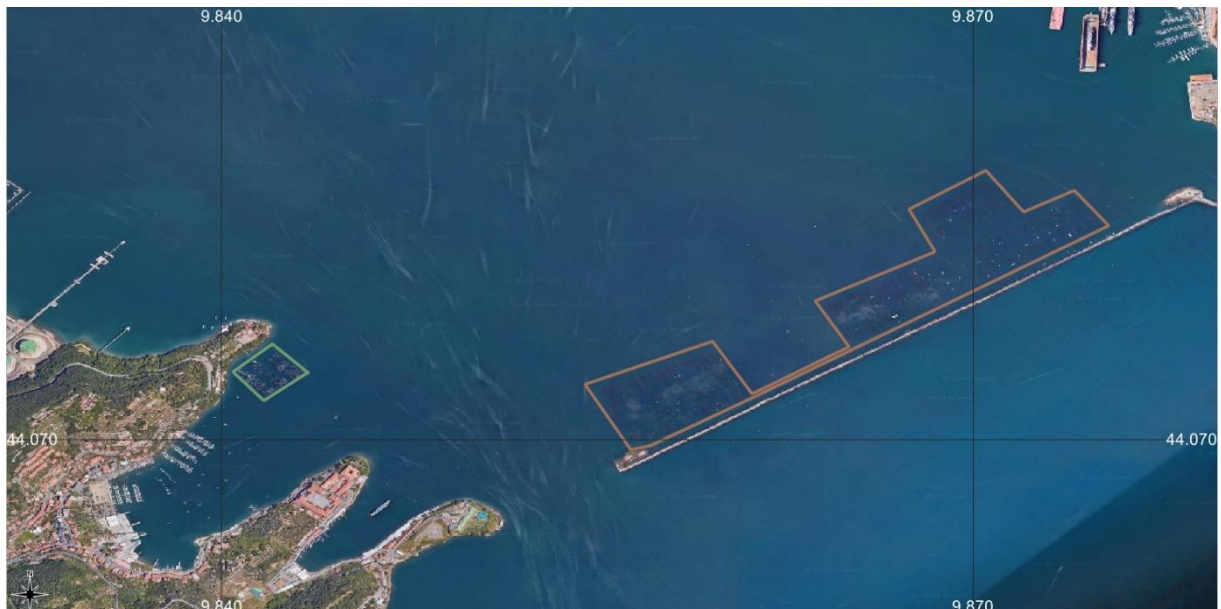


Figura 3-2 Posizione dei due target sensibili nella zona: a sinistra (box verde) l'allevamento ittico, a destra (box marrone) gli allevamenti di mitili

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA	REL-AMB-E-09108	
	DOCUMENTO Studio a supporto del dragaggio dei fondali in corrispondenza del pontile per le navi metaniere di Panigaglia (SP) Studio modellistico di dispersione dei sedimenti	Fg. 6 di 154	Rev. 00

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-108

3.1. Dati batimetrici

Per la caratterizzazione batimetrica dell'area si è utilizzato il modulo MIKE C-MAP [6] di DHI che fa riferimento al database di cartografia nautica digitale CM-93, creato e continuamente aggiornato da Jeppesen ([7]). I dati forniti da questo database possono essere direttamente importati nell'ambiente di lavoro dei codici di calcolo di DHI, consentendo quindi un'adeguata caratterizzazione batimetrica dell'area.

Al fine di ottenere una rappresentazione più accurata della batimetria nella zona di interesse, i dati batimetrici provenienti dalle carte nautiche sono stati integrati con il rilievo MBES acquisito nel 2022 (la cui estensione è mostrata in Figura 3-4).

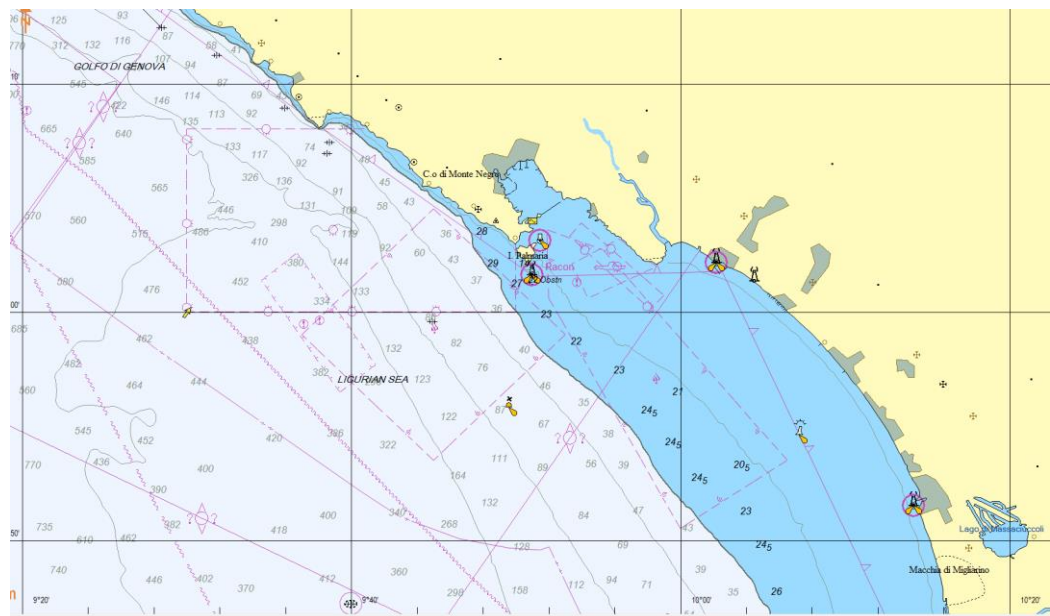


Figura 3-3 Rappresentazione della cartografia nautica per la zona di interesse

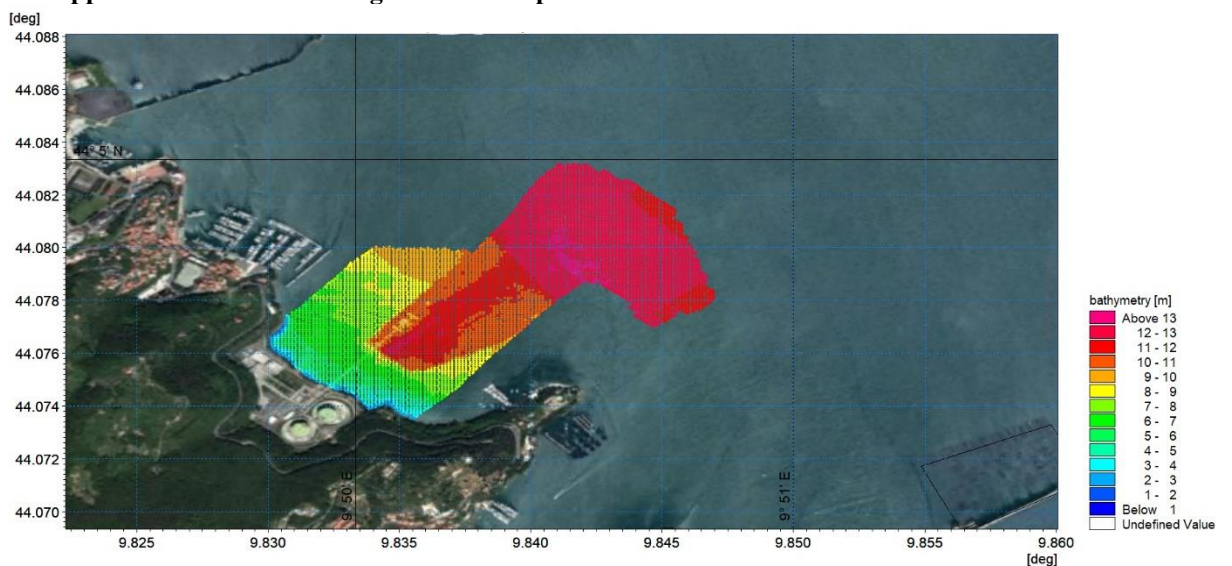


Figura 3-4 Rilievo MBES eseguito a Luglio 2022

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA	REL-AMB-E-09108	
	DOCUMENTO Studio a supporto del dragaggio dei fondali in corrispondenza del pontile per le navi metaniere di Panigaglia (SP) Studio modellistico di dispersione dei sedimenti	Fg. 7 di 154	Rev. 00

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-108

3.2. Caratterizzazione sedimentologica del fondale

Per la caratterizzazione sedimentologica dei fondali interessati dall'attività di dragaggio si è fatto riferimento alla *Relazione geologico tecnica NTC 2018 in Loc. Panigaglia*, redatta dallo Studio di Geologia Tecnica ed Ambientale Dott. Paolo Petri in data Febbraio 2021 [8] e contenente i risultati delle prove di laboratorio effettuate su tre sondaggi, a diverse profondità fino a -40m dal fondo del mare, attorno al pontile dello stabilimento GNL.



Figura 3-5 Posizione dei tre sondaggi S01, S02, S03

Il campione preso a riferimento per la presente analisi è il S02-Ci1 in quanto:

- prelevato ad una quota di 7.50-8 m dal fondo del mare, ovvero circa la profondità che si raggiunge al termine delle operazioni di dragaggio;
- localizzato in posizione più prossima alle aree da dragare prese a riferimento;
- risulta essere il campione caratterizzato dalla distribuzione granulometrica più cautelativa, vista la percentuale di fini maggiore rispetto agli altri campioni.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA	REL-AMB-E-09108	
	DOCUMENTO Studio a supporto del dragaggio dei fondali in corrispondenza del pontile per le navi metaniere di Panigaglia (SP) Studio modellistico di dispersione dei sedimenti	Fg. 8 di 154	Rev. 00

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-108

Tabella 3-1 Sintesi delle principali caratteristiche granulometriche di interesse per il presente studio. In evidenza, la distribuzione granulometrica del campione scelto a riferimento

Proprietà	S01-ci1	S02-Ci1	S02-Ci2	S03-Ci1	S03-Ci2	S03-Ci3
Profondità (m)	17-17.50	7.50-8.00	15-15.60	10-10.50	13-13.50	16-16.50
Peso volume γ	17.06	15.96	17.2	16.6	16.43	16.64
Wa (contenuto acqua) %	46	58.96	46.82	58.41	58.94	53.96
γ_d	11.7	10.04	11.72	10.48	10.34	10.81
Densità (g/cm3)	1.74	1.63	1.75	1.69	1.67	1.7
Percentuali %	S01-Ci1	S02-Ci1	S02-Ci2	S03-Ci1	S03-Ci2	S03-Ci3
Sabbia + ghiaia	12.47	6.17	1.21	22.39	17.23	26.54
Limo	52.46	32.26	46.13	40.57	57.76	27.67
Argilla	35.07	61.57	52.66	37.04	25.01	45.79

Tabella 3-2 Esempio di risultati dell'analisi granulometrica effettuata sul campione S01-C11

ANALISI GRANULOMETRICA DI UN TERRENO - ASTM D422-63

Cliente : MDR S.r.l. Località : Gassificatore SNAM - Panigaglia - Portovenere (SP)	Identificazione Campione : S01-C11 Profondità (m) : 17.00 -17.50 Tipo Campione : Indisturbato Descrizione del Materiale : Argilla di bassa plasticità	Data Ricevimento : 10/12/2020 Data Esecuzione Prova : 21/12/2020 U.S.C.S. Class. : CL																																																												
DATI GRANULOMETRICI <table border="1"> <tr><td>Ciottoli (%)</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>Ghiaia (%)</td><td>0.12</td></tr> <tr><td>Sabbia (%)</td><td>12.35</td></tr> <tr><td>Limo (%)</td><td>52.46</td></tr> <tr><td>Argilla (%)</td><td>35.07</td></tr> <tr><td>Fini (%)</td><td>87.53</td></tr> <tr><td>D. max (mm)</td><td>7.6</td></tr> </table>	Ciottoli (%)	0.00	Ghiaia (%)	0.12	Sabbia (%)	12.35	Limo (%)	52.46	Argilla (%)	35.07	Fini (%)	87.53	D. max (mm)	7.6	ALTRI PARAMETRI <table border="1"> <tr><td>D₅₀ (mm)</td><td>0.251</td></tr> <tr><td>D₆₀ (mm)</td><td>0.019</td></tr> <tr><td>D₃₀ (mm)</td><td>0.011</td></tr> <tr><td>D₃₀ (mm)</td><td>0.004</td></tr> <tr><td>D₁₀ (mm)</td><td>N.D.</td></tr> <tr><td>C_c</td><td>N.D.</td></tr> <tr><td>C_u</td><td>N.D.</td></tr> </table>	D ₅₀ (mm)	0.251	D ₆₀ (mm)	0.019	D ₃₀ (mm)	0.011	D ₃₀ (mm)	0.004	D ₁₀ (mm)	N.D.	C _c	N.D.	C _u	N.D.	GHIAIA E SABBIA Forma : angolare Durezza : dura e resistente Note: Presenza di frammenti di conchiglie																																
Ciottoli (%)	0.00																																																													
Ghiaia (%)	0.12																																																													
Sabbia (%)	12.35																																																													
Limo (%)	52.46																																																													
Argilla (%)	35.07																																																													
Fini (%)	87.53																																																													
D. max (mm)	7.6																																																													
D ₅₀ (mm)	0.251																																																													
D ₆₀ (mm)	0.019																																																													
D ₃₀ (mm)	0.011																																																													
D ₃₀ (mm)	0.004																																																													
D ₁₀ (mm)	N.D.																																																													
C _c	N.D.																																																													
C _u	N.D.																																																													
SETACCIATURA <table border="1"> <tr><th>D (mm)</th><th>Pass (%)</th></tr> <tr><td>125.00</td><td>100.00</td></tr> <tr><td>90.00</td><td>100.00</td></tr> <tr><td>75.00</td><td>100.00</td></tr> <tr><td>63.00</td><td>100.00</td></tr> <tr><td>50.80</td><td>100.00</td></tr> <tr><td>38.10</td><td>100.00</td></tr> <tr><td>25.40</td><td>100.00</td></tr> <tr><td>19.00</td><td>100.00</td></tr> <tr><td>12.70</td><td>100.00</td></tr> </table>	D (mm)	Pass (%)	125.00	100.00	90.00	100.00	75.00	100.00	63.00	100.00	50.80	100.00	38.10	100.00	25.40	100.00	19.00	100.00	12.70	100.00	SETACCIATURA <table border="1"> <tr><th>D (mm)</th><th>Pass (%)</th></tr> <tr><td>9.50</td><td>100.00</td></tr> <tr><td>4.75</td><td>99.88</td></tr> <tr><td>2.00</td><td>99.35</td></tr> <tr><td>0.85</td><td>96.71</td></tr> <tr><td>0.425</td><td>92.17</td></tr> <tr><td>0.250</td><td>89.99</td></tr> <tr><td>0.180</td><td>89.00</td></tr> <tr><td>0.125</td><td>88.36</td></tr> <tr><td>0.075</td><td>87.53</td></tr> </table>	D (mm)	Pass (%)	9.50	100.00	4.75	99.88	2.00	99.35	0.85	96.71	0.425	92.17	0.250	89.99	0.180	89.00	0.125	88.36	0.075	87.53	SEDIMENTAZIONE <table border="1"> <tr><th>D (mm)</th><th>Pass (%)</th></tr> <tr><td>0.0344</td><td>71.91</td></tr> <tr><td>0.0222</td><td>63.61</td></tr> <tr><td>0.0132</td><td>52.55</td></tr> <tr><td>0.0095</td><td>47.02</td></tr> <tr><td>0.0068</td><td>41.49</td></tr> <tr><td>0.0049</td><td>34.57</td></tr> <tr><td>0.0035</td><td>27.66</td></tr> <tr><td>0.0025</td><td>22.13</td></tr> <tr><td>0.0015</td><td>13.83</td></tr> </table>	D (mm)	Pass (%)	0.0344	71.91	0.0222	63.61	0.0132	52.55	0.0095	47.02	0.0068	41.49	0.0049	34.57	0.0035	27.66	0.0025	22.13	0.0015	13.83
D (mm)	Pass (%)																																																													
125.00	100.00																																																													
90.00	100.00																																																													
75.00	100.00																																																													
63.00	100.00																																																													
50.80	100.00																																																													
38.10	100.00																																																													
25.40	100.00																																																													
19.00	100.00																																																													
12.70	100.00																																																													
D (mm)	Pass (%)																																																													
9.50	100.00																																																													
4.75	99.88																																																													
2.00	99.35																																																													
0.85	96.71																																																													
0.425	92.17																																																													
0.250	89.99																																																													
0.180	89.00																																																													
0.125	88.36																																																													
0.075	87.53																																																													
D (mm)	Pass (%)																																																													
0.0344	71.91																																																													
0.0222	63.61																																																													
0.0132	52.55																																																													
0.0095	47.02																																																													
0.0068	41.49																																																													
0.0049	34.57																																																													
0.0035	27.66																																																													
0.0025	22.13																																																													
0.0015	13.83																																																													

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA	REL-AMB-E-09108	
	DOCUMENTO Studio a supporto del dragaggio dei fondali in corrispondenza del pontile per le navi metaniere di Panigaglia (SP) Studio modellistico di dispersione dei sedimenti	Fg. 9 di 154	Rev. 00

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-108

Tabella 3-3 Sintesi dei risultati, per tutti i campioni, delle prove di laboratorio



RIA Consulting - SRT Srl
 TABELLA RIASSUNTIVA PROVE DI LABORATORIO



Cliente: MDR

Località: Gasificatore Snam Panigaglia - Portovenere (SP)

IDENTIF. CAMPIONE	S01-C11	S01-C12	S01-C13	S02-C11	S02-C12	S02-C13	S02-C14	S03-C11	S03-C12	S03-C13	S03-C14	S03-C15
PROFONDITA' (m)	17.00 - 17.50	23.00 - 23.50	26.00 - 26.50	7.50 - 8.00	15.00 - 15.00	23.00 - 23.50	30.00 - 30.50	10.00 - 10.50	13.00 - 13.50	16.00 - 16.50	22.00 - 22.50	31.00 - 31.50
γ (kNm ³)	17.06	18.59	17.21	15.96	17.20	18.31	17.17	16.60	16.43	16.64	20.66	17.12
W_a (%)	46.00	32.64	47.34	58.96	46.62	36.12	50.54	58.41	58.94	53.96	19.14	50.56
γ_s (kNm ³)	11.70	14.62	11.69	10.04	11.72	13.45	11.41	10.48	10.34	10.81	17.34	11.37
G_s	-	2.710	2.703	-	-	2.732	2.709	-	-	-	2.692	2.699
GHIAIA (%)	0.12	2.83	-	0.32	-	-	-	0.60	-	-	-	-
SABBIA (%)	12.35	5.8	8.89	5.85	1.21	4.25	19.00	21.79	17.23	26.54	40.57	36.20
LIMO (%)	51.14	27.75	53.95	32.26	46.13	23.84	51.44	40.57	57.76	27.67	41.39	41.77
ARGILLA (%)	36.39	63.62	37.76	61.57	52.66	71.91	29.56	37.04	25.01	45.79	18.04	22.03
P_{200} (%)	87.53	91.37	91.11	93.83	96.79	95.75	81.00	77.61	82.77	73.46	59.43	63.80
LL	48	52	60	70	56	62	59	59	63	56	48	67
IP	25	26	34	42	33	35	32	32	33	28	26	34
Cu (kPa)	20.8	64.1	22.7	13.6	15.9	11.5	12.6	7.8	8.0	12.6	134.3	14.1
PHI' (°)	-	28.5	27.0	-	-	26.7	27.6	-	-	-	29.3	26.8
c' (kPa)	-	5.5	6.9	-	-	10.7	9.4	-	-	-	6.6	9.6
CaCO ₃ (%)	12	12	15	11	10	9	9	11	10	8	0	0
Organico (%)	4	4	3	5	4	4	4	4	4	4	4	3
CLASS. ASTM	CL	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CL	CH

3.3. Dati di circolazione generale

L'analisi della circolazione generale a scala di bacino del Mar Mediterraneo è stata condotta mediante il processamento dei dati provenienti dal modello Mediterranean Sea Physics Reanalysis [9], sistema operativo di previsione marina disponibile nell'ambito del Servizio Europeo CMEMS (Copernicus Marine Environment Monitoring Service) [3].

Il Mediterranean Sea Physics Reanalysis è un modello tridimensionale di circolazione globale, che fornisce le "rianalisi" delle principali variabili oceanografiche, quali temperatura, salinità, elevazione della superficie libera del mare e campi di corrente, lungo la colonna d'acqua sull'intero dominio del bacino del Mediterraneo, alla risoluzione orizzontale di 1/24° (circa 4.5 km) su 141 livelli verticali "z" posti a distanze variabili lungo la verticale.

In Figura 3-6 è rappresentato il dominio del modello di circolazione del Mediterraneo attraverso un esempio della distribuzione della velocità di corrente superficiale sull'intero bacino.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA	REL-AMB-E-09108	
	DOCUMENTO Studio a supporto del dragaggio dei fondali in corrispondenza del pontile per le navi metaniere di Panigaglia (SP) Studio modellistico di dispersione dei sedimenti	Fg. 10 di 154	Rev. 00

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-108

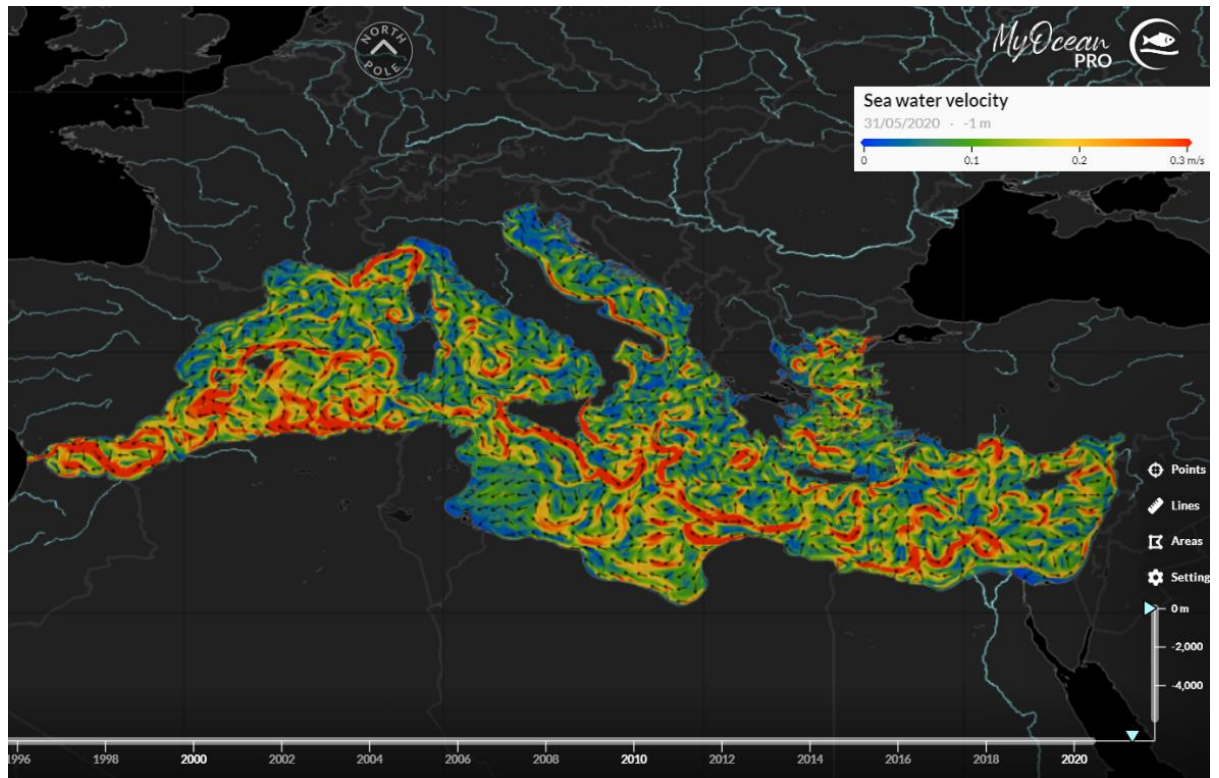


Figura 3-6 Dominio del modello “Mediterranean Sea Physics Reanalysis” ed esempio di distribuzione delle velocità di corrente in tutto il bacino. Immagine disponibile in marine.copernicus.eu [3]

I dati utilizzati nel presente studio a livello di modello di larga scala sono le analisi operative basate sul modello numerico NEMO (Nucleus for European Modelling of the Ocean) [10]. Si tratta di un modello baroclinico di circolazione marina allo stato dell'arte, che risolve in forma numerica le equazioni di Navier-Stokes, le equazioni del trasporto di salinità e di temperatura, e l'equazione di stato del fluido marino, in approssimazione idrostatica.

Il modello include un modulo di assimilazione dei dati osservati basato sullo schema 3-D VAR [11], che assimila dati di altimetria provenienti da osservazioni satellitari, e di temperatura e salinità provenienti da boe ARGO e da sonde XBT e CTD. Esso è forzato dai campi di analisi operativa del Centro Europeo ECMWF (European Centre for Medium range Weather Forecast) [12], ed opera correzioni sui flussi all'interfaccia aria-mare (calcolati attraverso formule parametriche) tramite rilassamento ai dati di temperatura superficiale del mare (SST) osservati da satellite.

Le principali caratteristiche del modello a larga scala sono riassunte in Tabella 3-4.

I dati di rianalisi del sistema CMEMS [3] sono certificati attraverso un approfondito sistema di controllo di qualità, i cui risultati sono presentati nel CMEMS Quality Identification Document (QUID) per il Mar Mediterraneo [13].

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA	REL-AMB-E-09108	
	DOCUMENTO Studio a supporto del dragaggio dei fondali in corrispondenza del pontile per le navi metaniere di Panigaglia (SP) Studio modellistico di dispersione dei sedimenti	Fg. 11 di 154	Rev. 00

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-108

Tabella 3-4 Principali caratteristiche del modello a scala di bacino del Mar Mediterraneo del CMEMS (Mediterranean Sea Physics Reanalysis) [3]

Modello numerico	NEMO
Risoluzione orizzontale	1/24°
Risoluzione verticale	141 livelli z non equidistanti
Disponibilità temporale	01.01.1987 – 30.06.2021
Risoluzione temporale dei dati	Medie giornaliere
Forzante atmosferico	Analisi operative di ECMWF: – Risoluzione orizzontale: 0.125° – Frequenza temporale: 6 ore
Condizioni al contorno aperto	Modello globale operativo di Mercator Ocean alla risoluzione orizzontale di 1/12°
Assimilazione dati	3D-VAR per – T (XBT, MBT, ARGO, CTD) – S (ARGO, CTD) – SLA (satellite)
Correzione su temperatura superficiale	Rilassamento a dati di SST osservati da satellite

3.4. Dati di marea

Per la componente mareale in termini di velocità ed elevazione della superficie libera (non presente nel prodotto Copernicus descritto in precedenza) si è fatto riferimento al modello Oregon State University - Tidal Prediction Software [14] facendo riferimento alla soluzione regionale del bacino del Mar Mediterraneo con risoluzione orizzontale di 1/30° (Figura 3-7).

In particolare, i costituenti di marea utilizzati sono i primi otto in termini di energia associata, ossia M2, S2, N2, K2, K1, O1, P1, Q1.

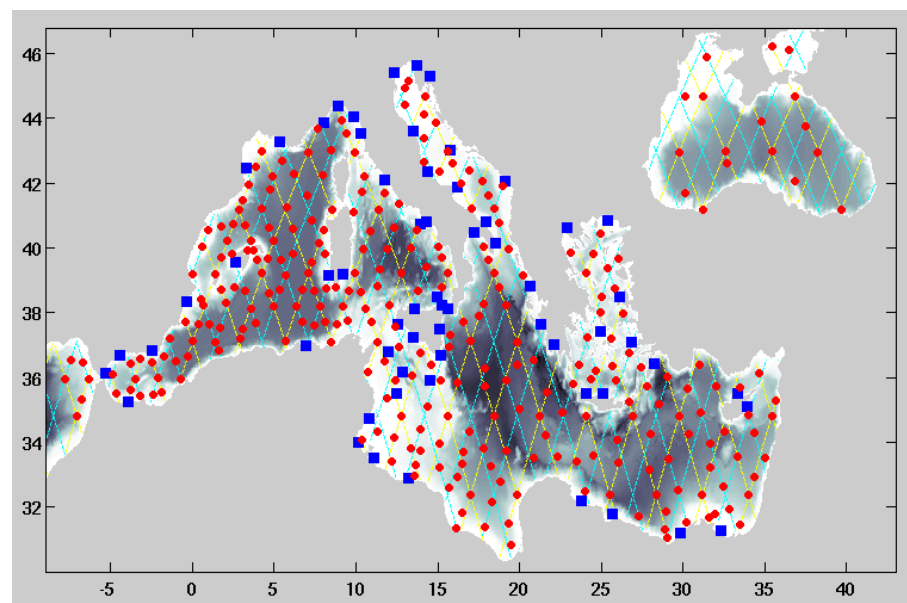


Figura 3-7 Dominio OTPS per il bacino del Mar Mediterraneo e Mar Nero

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA	REL-AMB-E-09108	
	DOCUMENTO Studio a supporto del dragaggio dei fondali in corrispondenza del pontile per le navi metaniere di Panigaglia (SP) Studio modellistico di dispersione dei sedimenti	Fg. 12 di 154	Rev. 00

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-108

3.5. Condizioni atmosferiche locali

Nello studio della circolazione risulta importante l'azione del vento sulla superficie del mare e lo scambio termico all'interfaccia aria-mare. A tale scopo sono stati analizzati i dati di temperatura dell'aria, vento, umidità relativa e precipitazione forniti dalle stazioni di Spezia e di Portovenere, entrambe gestite dal Centro Funzionale Meteo-Idrologico di Protezione Civile (CFMI-PC) della Regione Liguria [15]. La loro ubicazione è riportata rispettivamente in Figura 3-8 e Figura 3-9.

A seguito di un'attenta analisi dei dati disponibili per entrambe le stazioni, per la sola temperatura dell'aria si è scelto di fare riferimento alla stazione di Portovenere, considerata più rappresentativa dello specchio acqueo della rada rispetto a quella collocata nella città di La Spezia.

Per le altre variabili atmosferiche sono stati invece presi a riferimento i dati della stazione di La Spezia (umidità relativa e precipitazioni non sono disponibili per la stazione di Portovenere).



Figura 3-8 Individuazione della stazione meteo-idrologica della Spezia (pallino giallo)

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA	REL-AMB-E-09108	
	DOCUMENTO Studio a supporto del dragaggio dei fondali in corrispondenza del pontile per le navi metaniere di Panigaglia (SP) Studio modellistico di dispersione dei sedimenti	Fg. 13 di 154	Rev. 00

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-108

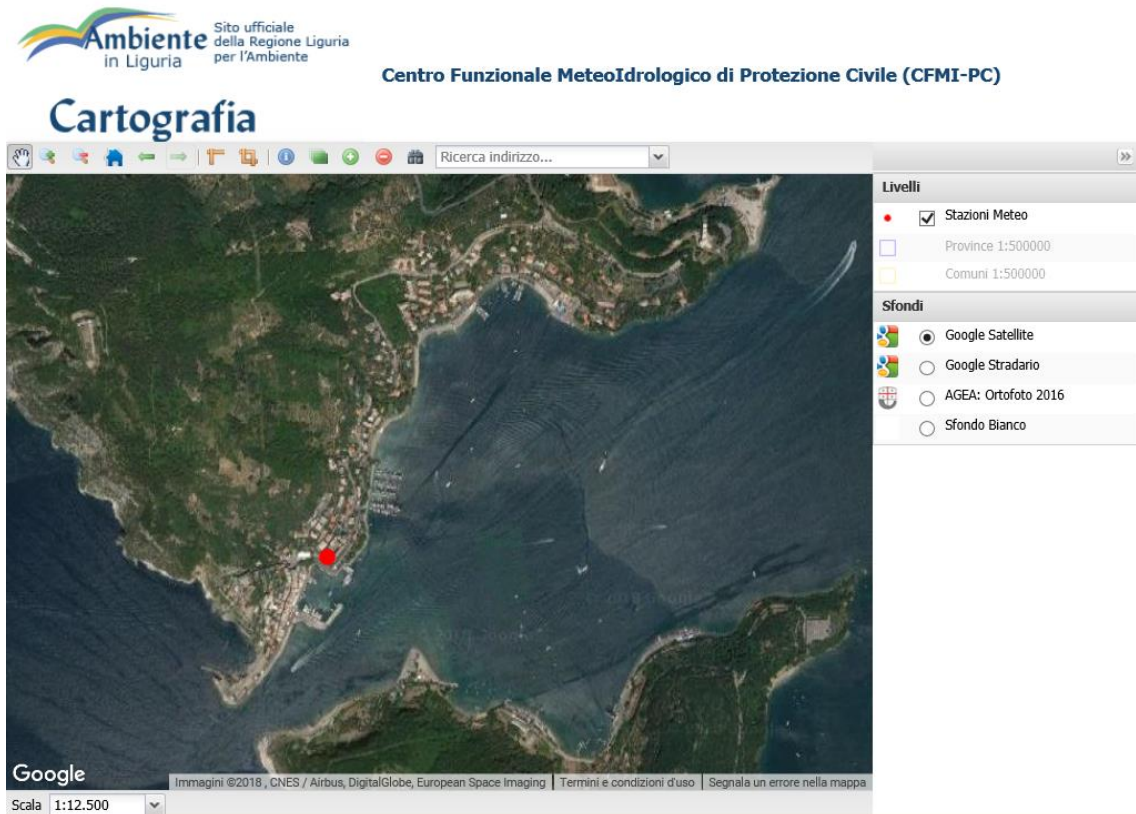


Figura 3-9 Individuazione della stazione meteo-idrologica di Portovenere (pallino rosso)

3.6. Apporti dai corsi d'acqua

Per lo studio dell'idrodinamica locale, l'unico corpo idrico che è stato considerato è il fiume Magra vista la sua importanza in termini di portata defluente e la sua vicinanza al sito di interesse. Non si è ritenuto rilevante per la finalità del presente studio considerare altri rii e torrenti minori che sfociano nel Golfo della Spezia.

In considerazione delle precipitazioni pressoché assenti durante il periodo estivo, per questo scenario è stata assunta come portata defluente dal fiume Magra quella cosiddetta "base", che è pari a 17.2 m³/s, come indicato nel Piano Stralcio di Bacino [16].

Per il periodo invernale invece le portate liquide sono state ricavate dai risultati del modello idrologico afflussi-deflussi DRiFt, operato dal CFMI-PC sulla base dei dati di pioggia osservata ai pluviometri del bacino del fiume Magra.

Il modello afflussi-deflussi DRiFt, sviluppato dal CIMA, è un modello idrologico lineare, semi-distribuito, parziale ed in grado di effettuare simulazioni a scala d'evento. Si propone come strumento di semplice utilizzo per la simulazione e la previsione degli idrogrammi di piena, in grado di interpretare le caratteristiche ritenute di maggiore importanza per gli ambienti naturali quali quello dell'arco alpino-appenninico, caratterizzati da particolari strutture drenanti di dimensioni spaziali ridotte, la cui parte montana risulta preponderante nei processi di formazione della piena rispetto a quella con caratteristiche spiccatamente vallive.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA	REL-AMB-E-09108	
	DOCUMENTO Studio a supporto del dragaggio dei fondali in corrispondenza del pontile per le navi metaniere di Panigaglia (SP) Studio modellistico di dispersione dei sedimenti	Fg. 14 di 154	Rev. 00

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-108

Il modello si basa sulla teoria che la risposta idrologica di un sistema idrografico ad eventi intensi di precipitazione è dominata dalla morfologia del bacino e consente di trascurare i complessi effetti di dispersione idrodinamica che influenzano la propagazione dell'acqua fino alla foce.

E' definito semi-distribuito in quanto accetta e gestisce l'informazione in ingresso spazialmente distribuita sul territorio e fornisce il risultato concentrato in una sezione specifica. Il bacino in analisi viene grigliato con un reticolo georeferenziato a maglia quadrata e risulta, quindi, suddiviso in un certo numero di celle aventi dimensioni corrispondenti a quelle del modello digitale di elevazione del terreno.

La sua versione base ha cinque parametri: due di carattere morfologico per l'individuazione della rete di drenaggio e la distinzione tra canali e versanti, due di carattere cinematico, velocità in canale e sul versante, ed un parametro fisico rappresentante lo stato di umidità del terreno che identifica la situazione iniziale.

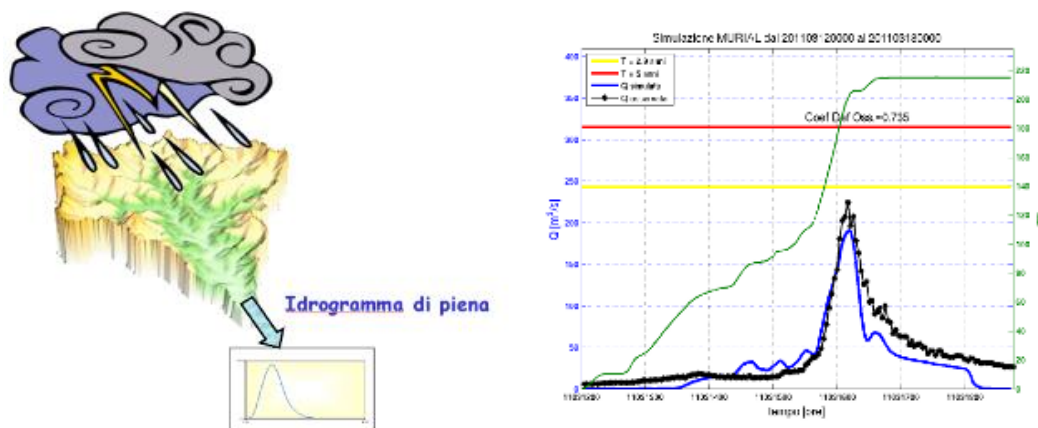


Figura 3-10 Schema concettuale del modello idrologico afflussi deflussi DRiFt (a sinistra) e rappresentazione di un idrogramma di piena simulato (linea blu) ed osservato (linea nera)

Tale procedura ha portato alla creazione della serie temporale illustrata in Figura 3-11, in cui è riportato l'andamento delle portate liquide del fiume Magra per il periodo di interesse.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA	REL-AMB-E-09108	
	DOCUMENTO Studio a supporto del dragaggio dei fondali in corrispondenza del pontile per le navi metaniere di Panigaglia (SP) Studio modellistico di dispersione dei sedimenti	Fg. 15 di 154	Rev. 00

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-108

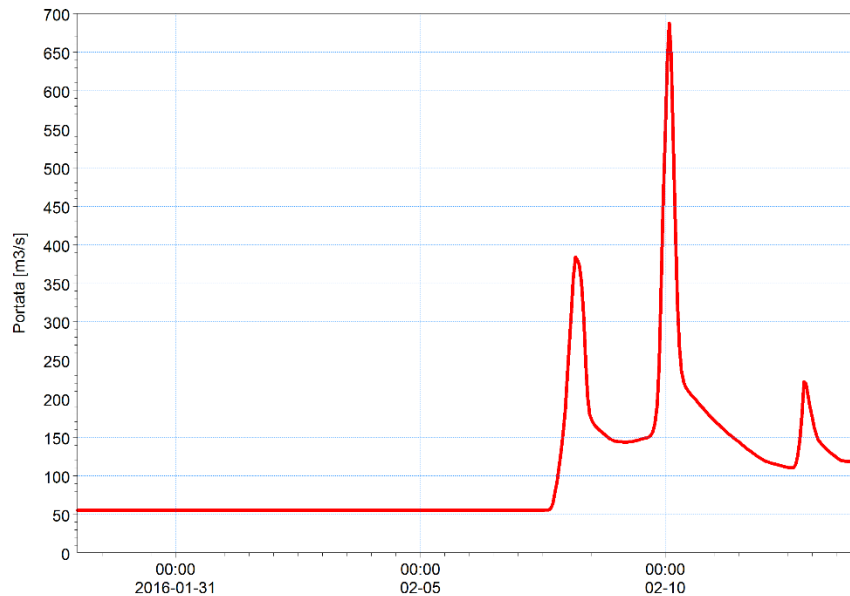


Figura 3-11 Portata liquida del fiume Magra nel periodo 29.01.2016 al 14.02.2016 ricostruita attraverso le uscite del modello DRiFt

3.7. Scarico della centrale Enel

Le acque di raffreddamento dell'impianto termoelettrico Enel "Eugenio Montale" della Spezia sono recapitate in mare in località Fossamastra attraverso un canale di restituzione coperto e dotato di diffusore finale. Lo scarico, caratterizzato da valori di portata non trascurabili ai fini di una corretta rappresentazione della circolazione della rada, rilascia in mare volumi d'acqua a temperatura superiore di alcuni gradi rispetto a quella del corpo idrico ricettore, influenzando pertanto anche le caratteristiche termiche della rada.

Per stimare l'apporto dello scarico della centrale Enel "Eugenio Montale", sia in termini di portate liquide sia in termini di "eccesso di temperatura", in assenza di dati aggiornati relativi al periodo simulato, si è fatto riferimento ai dati resi disponibili da Enel, attraverso la pubblicazione della "Dichiarazione Ambientale" per gli anni 2013 e 2016 relativa all'impianto termoelettrico della Spezia, redatta proprio da Enel.

Nei documenti sopra citati sono riportati sia i volumi totali delle acque di raffreddamento restituite a mare sia le temperature medie mensili ed annuali misurate allo scarico negli anni compresi complessivamente tra il 2009 ed il 2015.

L'analisi di tali dati ha permesso di stimare la portata media allo scarico in circa 15 m³/s. La temperatura allo scarico è stata assunta pari a 28°C, durante il periodo estivo e pari a 17°C, durante il periodo invernale.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA	REL-AMB-E-09108	
	DOCUMENTO Studio a supporto del dragaggio dei fondali in corrispondenza del pontile per le navi metaniere di Panigaglia (SP) Studio modellistico di dispersione dei sedimenti	Fg. 16 di 154	Rev. 00

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-108

4. SCELTA DEGLI SCENARI DI MODELLAZIONE

Come anticipato al capitolo 2, lo studio è stato svolto facendo riferimento a due specifici periodi:

- un periodo estivo, caratterizzato da uno scarso idrodinamismo e da una significativa stratificazione termica della colonna d'acqua;
- un periodo invernale, caratterizzato da un elevato idrodinamismo e da una ridotta stratificazione termica della colonna d'acqua.

Per la scelta dei periodi di due settimane da prendere a riferimento per le simulazioni, è stata effettuata un'analisi dei dati di vento, che rappresenta la forzante principale nella generazione dell'idrodinamica all'interno della rada. Per questi dati si è fatto riferimento alle registrazioni della stazione meteo di La Spezia disponibili per il periodo dal 2011 ad oggi (già descritti alla sezione 3.5). I risultati, riportati qui di seguito in forma di rose di vento, mostrano come il mese di Febbraio 2016 (rosa a sinistra in Figura 4-1) sia rappresentativo delle condizioni di vento medie (su tutti gli anni disponibili) che si verificano nel mese di Febbraio (a destra in Figura 4-1). Analogamente per il periodo estivo, il mese di Agosto 2017 (a sinistra Figura 4-2) è stato scelto per la similarità con le condizioni di vento medie che si verificano ad Agosto (a destra Figura 4-2).

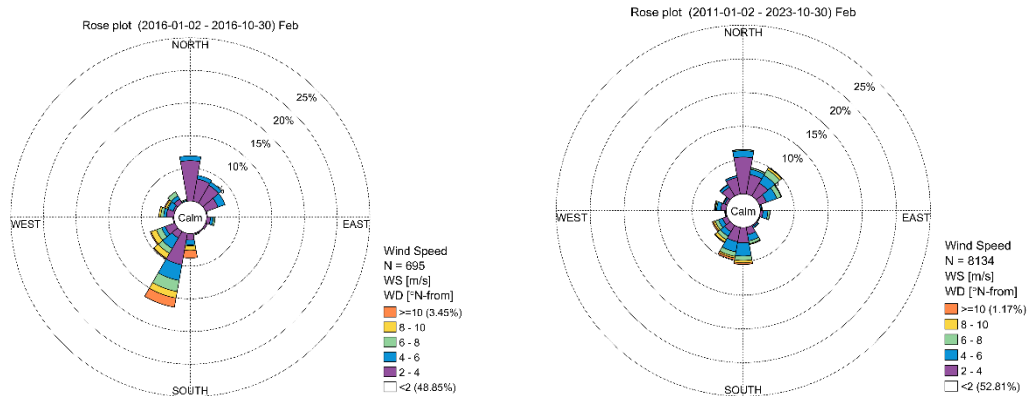


Figura 4-1 Rosa di vento relativa al mese di Febbraio 2016 (a sinistra) in confronto alla rosa di vento relativa ai dati di Febbraio di tutti gli anni disponibili (a destra)

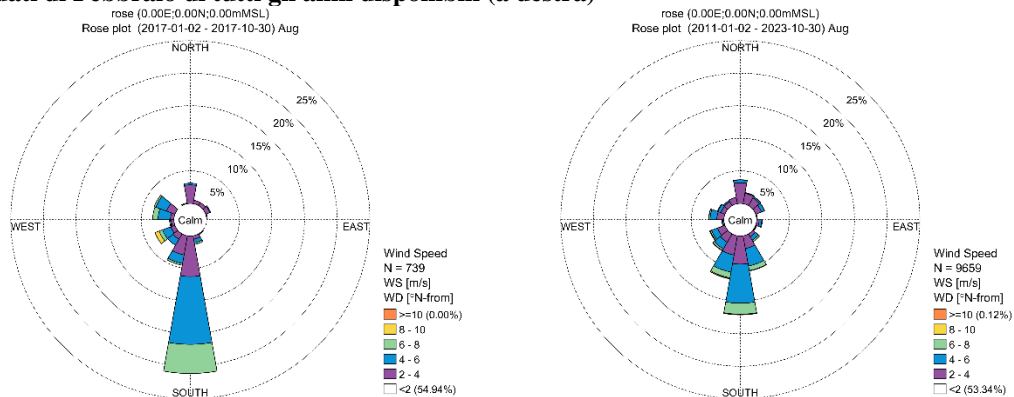



Figura 4-2 Rosa di vento relativa al mese di Agosto 2017 (a sinistra) in confronto alla rosa di vento relativa ai dati di Agosto di tutti gli anni disponibili (a destra)

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA	REL-AMB-E-09108	
	DOCUMENTO Studio a supporto del dragaggio dei fondali in corrispondenza del pontile per le navi metaniere di Panigaglia (SP) Studio modellistico di dispersione dei sedimenti	Fg. 17 di 154	Rev. 00

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-108

L'analisi ha portato quindi all'identificazione di due periodi di due settimane rappresentativi per le due stagioni:

- **periodo estivo:** dal 01.08.2017 00:00 al 15.08.2017 00:00
- **periodo invernale:** dal 01.02.2016 00:00 al 15.02.2016 00:00.

5. MODELLO 3D DI CIRCOLAZIONE

Come anticipato, il database CMEMS descritto alla sezione 3.3, pur essendo in grado di simulare opportunamente le dinamiche di circolazione alla scala del Mar Mediterraneo, presenta una risoluzione spaziale non adeguata alla simulazione delle correnti locali in corrispondenza dell'area in studio. Pertanto, al fine di descrivere ad un livello di dettaglio maggiore il regime idrodinamico per la zona di interesse, utile per le successive applicazioni modellistiche specialistiche, è stato implementato il modello numerico tridimensionale MIKE 3 HD-*Hydrodynamics*, annidato al modello operativo a scala regionale Mediterranean Sea Physics Reanalysis [9]. MIKE 3 HD si basa su un approccio a maglia flessibile (in Figura 5-1 viene presentato un esempio) ed è stato sviluppato per applicazioni in mare aperto, costiere ed in zone di estuario.

Il codice di calcolo si basa sulla soluzione numerica delle equazioni di Navier-Stokes in condizioni di pressione idrostatica. Il modello risolve le equazioni di continuità, quantità di moto, trasporto di temperatura, salinità. La densità non dipende dalla pressione, ma esclusivamente da temperatura e salinità dell'acqua.

Relativamente alle tecniche di risoluzione numerica, MIKE 3 utilizza un metodo ai volumi finiti per la discretizzazione delle equazioni di flusso e trasporto con valori centrati sul singolo elemento. Il dominio spaziale è discretizzato tramite la suddivisione del continuo in elementi/celle non sovrapposti.

Nelle dimensioni orizzontali è utilizzata una maglia non strutturata costituita da triangoli o quadrilateri, mentre per la dimensione verticale si può utilizzare sia l'approccio di discretizzazione della colonna d'acqua secondo i cosiddetti livelli σ (strati di spessore variabile in funzione della profondità locale), che un approccio basato su livelli orizzontali "z" che, infine, un approccio combinato sigma-zeta.

Una descrizione completa del modulo idrodinamico è riportata in Allegato B.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA	REL-AMB-E-09108	
	DOCUMENTO Studio a supporto del dragaggio dei fondali in corrispondenza del pontile per le navi metaniere di Panigaglia (SP) Studio modellistico di dispersione dei sedimenti	Fg. 18 di 154	Rev. 00

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-108

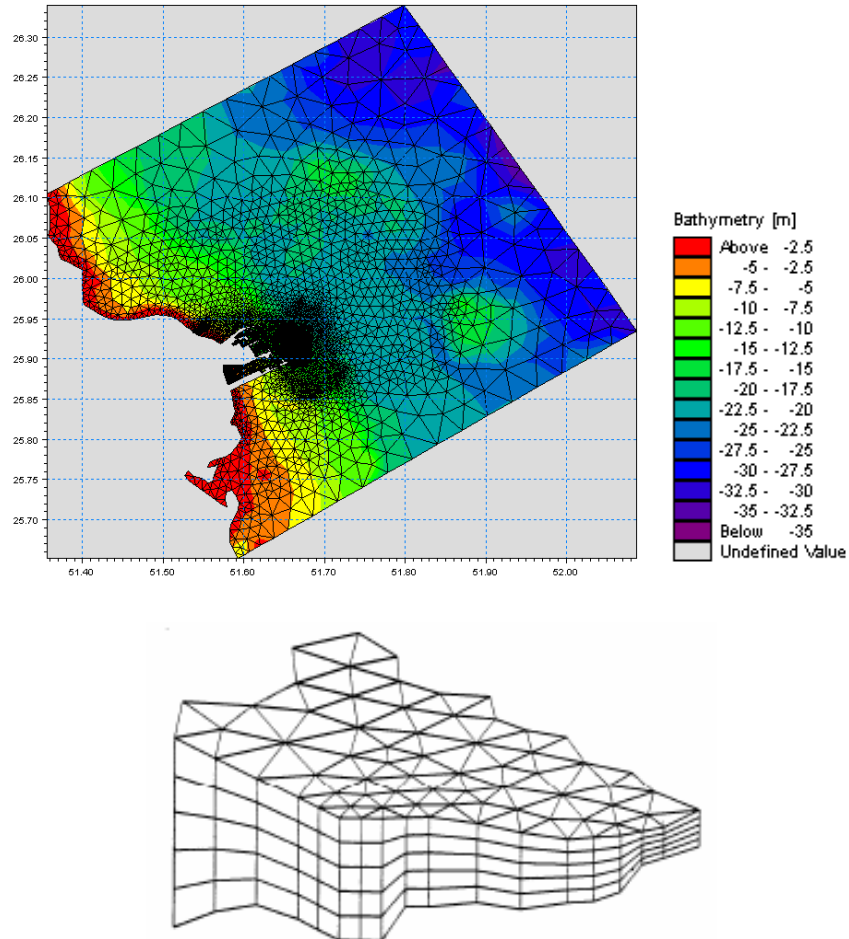


Figura 5-1 Esempi di griglia di calcolo di MIKE 3 FM

5.1. Dominio di calcolo e risoluzione

I dati batimetrici disponibili, descritti nella sezione 3.1, sono stati opportunamente processati ed il risultato finale è illustrato in Figura 5-2, in cui è rappresentata la batimetria del modello, incluse le isobate e le indicazioni delle profondità.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA	REL-AMB-E-09108	
	DOCUMENTO Studio a supporto del dragaggio dei fondali in corrispondenza del pontile per le navi metaniere di Panigaglia (SP) Studio modellistico di dispersione dei sedimenti	Fg. 19 di 154	Rev. 00

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-108

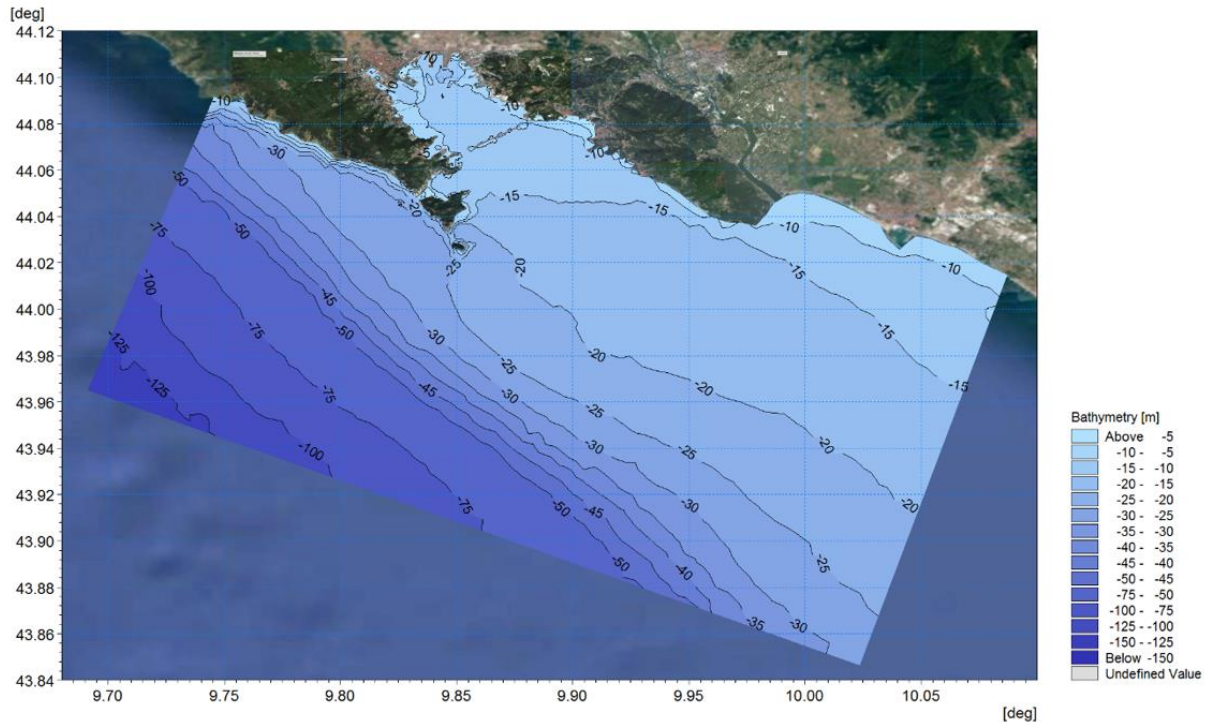


Figura 5-2 **Batimetria per il dominio di calcolo considerato ottenuta dal processamento dei dati disponibili, con indicazioni delle isobate**

L'estensione del dominio di calcolo è stata scelta in modo da includere le principali caratteristiche della circolazione locale dal punto di vista idrodinamico.

In particolare, il dominio comprende un'area di estensione di circa 30 km lungo la direzione parallela alla costa e di circa 15-20 km perpendicolarmente ad essa. La profondità massima considerata nel dominio di calcolo è pari a circa 150 m.

La batimetria del modello è stata costruita utilizzando un approccio a maglia flessibile: la risoluzione spaziale (lunghezza media dei lati dei triangoli) lungo i contorni aperti del dominio del modello è di circa 500 m ed aumenta nell'avvicinamento all'area di interesse. Nella zona interna alla rada della Spezia la risoluzione sale fino a circa 50 m.

In Figura 5-3 è rappresentata la griglia complessiva del modello, mentre in Figura 5-4 è rappresentato un ingrandimento della stessa che comprende l'intera rada e mostra la diga e la delimitazione degli allevamenti di mitilicoltura e ittico.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA	REL-AMB-E-09108	
	DOCUMENTO Studio a supporto del dragaggio dei fondali in corrispondenza del pontile per le navi metaniere di Panigaglia (SP) Studio modellistico di dispersione dei sedimenti	Fg. 20 di 154	Rev. 00

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-108

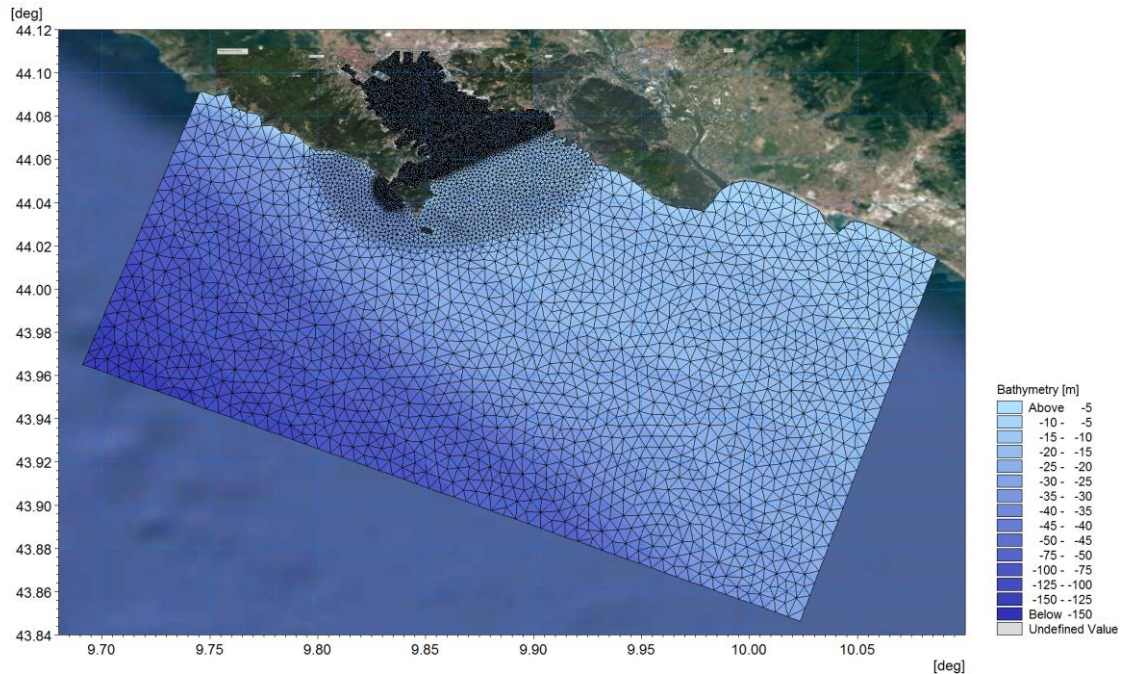


Figura 5-3 Risoluzione spaziale della mesh di calcolo

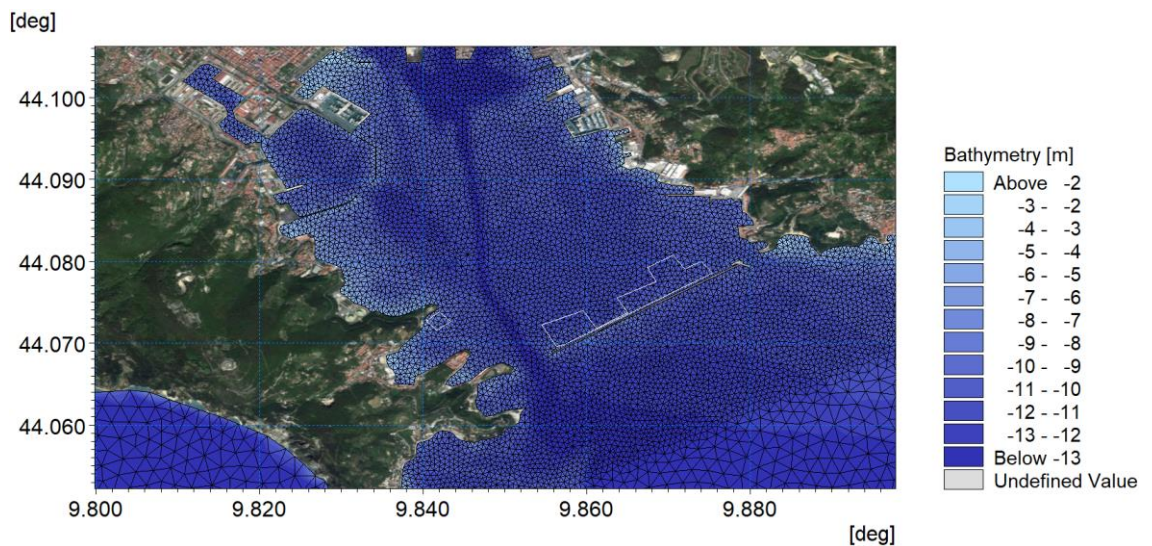


Figura 5-4 Dettaglio della risoluzione spaziale della mesh di calcolo con indicazione in bianco degli allevamenti di mitilcoltura (a destra) e dell'allevamento ittico (a sinistra)

La discretizzazione verticale è stata effettuata utilizzando 15 livelli di tipo ibrido, ed in particolare 10 layers sigma, ossia di spessore variabile con la profondità, fino alla profondità di 40 m, e 5 layers zeta a profondità maggiori. La Figura 5-5 illustra un esempio di rappresentazione del transetto verticale, preso perpendicolarmente alla diga.

Complessivamente, la griglia di calcolo è costituita da 20'656 elementi di area variabile, strutturati su 15 layers verticali.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA	REL-AMB-E-09108	
	DOCUMENTO Studio a supporto del dragaggio dei fondali in corrispondenza del pontile per le navi metaniere di Panigaglia (SP) Studio modellistico di dispersione dei sedimenti	Fg. 21 di 154	Rev. 00

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-108

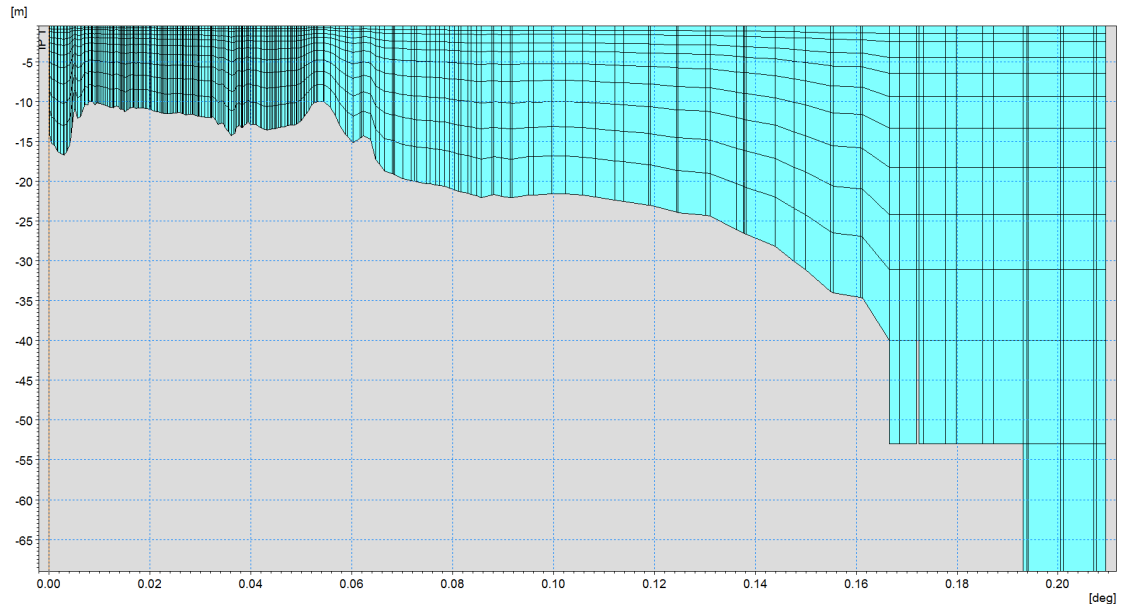


Figura 5-5 Esempio di discretizzazione della colonna d'acqua in layers sigma-zeta

5.2. Condizioni iniziali e al contorno, parametri del modello

Il modello MIKE 3 HD FM [1] è stato utilizzato nella più complessa versione baroclinica, in cui la densità dell'acqua è variabile, in tutte le celle di calcolo, in funzione di temperatura e salinità. L'utilizzo di tale formulazione consente di simulare correttamente l'effetto dei gradienti di densità sulle correnti nonché le variazioni spazio-temporali della temperatura e della salinità.


Data la presenza della diga foranea, si è ritenuto trascurabile il contributo della corrente generata dal moto ondoso. Pertanto, le condizioni di onda non sono state considerate come forzanti del modello di circolazione.

Le forzanti meteorologiche che sono state considerate ed imposte ai contorni aperti del modello idrodinamico sono pertanto: velocità di corrente, elevazione della superficie libera, temperatura e salinità di macro-scala provenienti dal modello "padre" CMEMS, descritto alla sezione 3.3. La componente mareale ai contorni aperti del modello in termini di velocità ed elevazione della superficie libera è stata ottenuta dall'implementazione del modello OTPS [14] (sezione 3.4).

Per quanto riguarda il vento, esso è stato imposto con valori costanti su tutto il dominio e variabili nel tempo. Per tale grandezza si è fatto riferimento ai dati forniti dalla stazione meteo-idrologica di La Spezia (sezione 3.5).

Infine, per tenere in conto dello scambio termico aria-acqua sono stati considerati i dati forniti dalle stazioni meteo-idrologica di La Spezia e di Portovenere (sezione 3.5) in termini di temperatura dell'aria, umidità relativa e precipitazioni. Anche queste condizioni sono state imposte in maniera variabile nel tempo con frequenza oraria, ma costanti nello spazio.

Nella costruzione del modello idrodinamico sono stati inoltre considerati gli apporti del fiume Magra, descritti alla sezione 3.6, e lo scarico delle acque di raffreddamento della centrale termoelettrica Enel "Eugenio Montale", descritto alla sezione 3.7.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA	REL-AMB-E-09108	
	DOCUMENTO Studio a supporto del dragaggio dei fondali in corrispondenza del pontile per le navi metaniere di Panigaglia (SP) Studio modellistico di dispersione dei sedimenti	Fg. 22 di 154	Rev. 00

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-108

Le finestre temporali di simulazione sono quelle evidenziate nella sezione 4.

In Tabella 5-1 vengono riportate le caratteristiche principali dell'implementazione di MIKE 3 HD FM utilizzata per il presente studio.

Tabella 5-1 **Principali caratteristiche del modello di circolazione ad alta risoluzione**

Caratteristiche del modello MIKE 3 HD FM	
Modello Numerico	MIKE 3 HD FM
Risoluzione orizzontale (min/max)	500 m / 50 m
Tipologia della griglia di calcolo	Volumi finiti / maglia non strutturata
Risoluzione verticale	15 livelli ibridi così distribuiti: <ul style="list-style-type: none"> - 10 livelli σ (fino a -40 m) - 5 livelli z (non equi-spaziati, per profondità maggiori di 40 m)
Periodo di simulazione	01 Agosto 2017 00:00 – 15 Agosto 2017 00:00 01 Febbraio 2016 00:00 – 15 Febbraio 2016 00:00
Frequenza dei risultati	Oraria (istantanea)
Condizioni iniziali	Campi istantanei da CMEMS (U, V, T, S, SSH)
Forzante atmosferico	Stazioni meteo-idrologiche di La Spezia (vento, umidità relativa e precipitazioni) e di Portovenere (temperatura dell'aria)
Dati ai contorni aperti	Velocità di corrente, Temperatura, Salinità e livelli: dal modello CMEMS Marea: dal modello OTPS
Condizioni al contorno aperto	Flather [17]
Flussi all'interfaccia aria-mare	Momento: sì Calore: sì Massa: sì
Apporti idrici	Fiume Magra Scarico centrale Enel "Eugenio Montale"

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA	REL-AMB-E-09108	
	DOCUMENTO Studio a supporto del dragaggio dei fondali in corrispondenza del pontile per le navi metaniere di Panigaglia (SP) Studio modellistico di dispersione dei sedimenti	Fg. 23 di 154	Rev. 00

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-108

5.3. Risultati del modello idrodinamico

A seguire, a titolo di esempio, sono riportati alcuni risultati ottenuti con l'applicazione del modello idrodinamico. Per motivi di rappresentazione ed esposizione dei risultati, sono riportate le mappe di circolazione (da Figura 5-6 a Figura 5-11) a tre profondità (in superficie, a profondità intermedia e al fondo), per i due periodi di riferimento (Febbraio e Agosto) per alcuni istanti, scelti in modo da rappresentare differenti direzioni della corrente superficiale (entrante ed uscente dalla rada).

I risultati mostrano quanto segue:

- si riscontra, come atteso, un forte rallentamento della corrente negli strati più profondi rispetto alla superficie;
- l'idrodinamica che si instaura in superficie può essere molto differente da quella che si genera al fondo: all'aumentare della profondità, non solo le correnti sono meno intense, ma spesso presentano un verso di propagazione opposto, sia per il periodo invernale che quello estivo;
- la corrente, qualunque sia la direzione prevalente al largo, tende localmente a disporsi parallela alla diga foranea. Questa evenienza è dovuta al fatto che la notevole estensione longitudinale della diga condiziona fortemente il regime idrodinamico locale, soprattutto in condizioni di basso idrodinamismo, come nel periodo estivo.

Per gli stessi istanti temporali delle mappe di corrente, sono riportate le mappe relative ai campi di temperatura per le tre profondità di cui sopra (da Figura 5-12 a Figura 5-17). Le mappe mostrano il rimescolamento termico conseguente al flusso attraverso le bocche: in Figura 5-12 ad esempio, è mostrato un istante in cui la temperatura superficiale all'interno della rada viene raffreddata di quasi 1.5°C dalla corrente entrante nella rada (mostrata in Figura 5-6). In caso di corrente superficiale uscente dalla rada (mostrata in Figura 5-9) si crea un pennacchio termico, ben visibile in Figura 5-15, dovuto a differenze termiche tra l'interno e l'esterno della rada di circa 0.5°C.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA		REL-AMB-E-09108
	DOCUMENTO Studio a supporto del dragaggio dei fondali in corrispondenza del pontile per le navi metaniere di Panigaglia (SP) Studio modellistico di dispersione dei sedimenti		Fg. 24 di 154

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-108

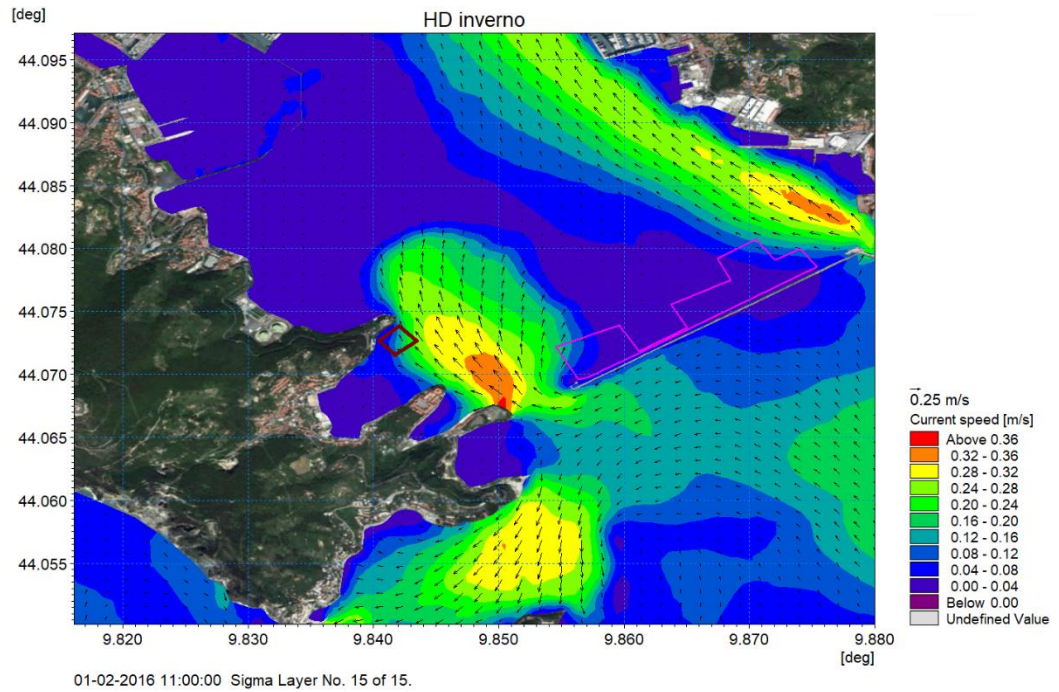


Figura 5-6 Campo di velocità in superficie durante il periodo invernale. – 1 Febbraio 2016 alle ore 11:00

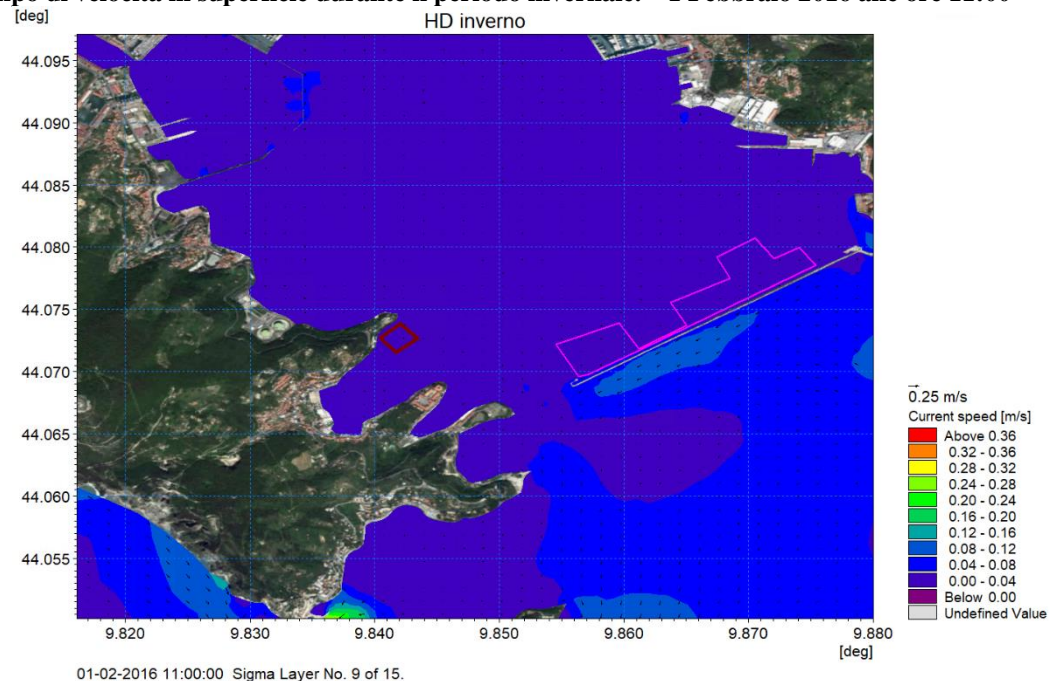


Figura 5-7 Campo di velocità alla profondità intermedia durante il periodo invernale. – 1 Febbraio 2016 alle ore 11:00

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA		REL-AMB-E-09108
	DOCUMENTO Studio a supporto del dragaggio dei fondali in corrispondenza del pontile per le navi metaniere di Panigaglia (SP) Studio modellistico di dispersione dei sedimenti		Fg. 25 di 154

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-108

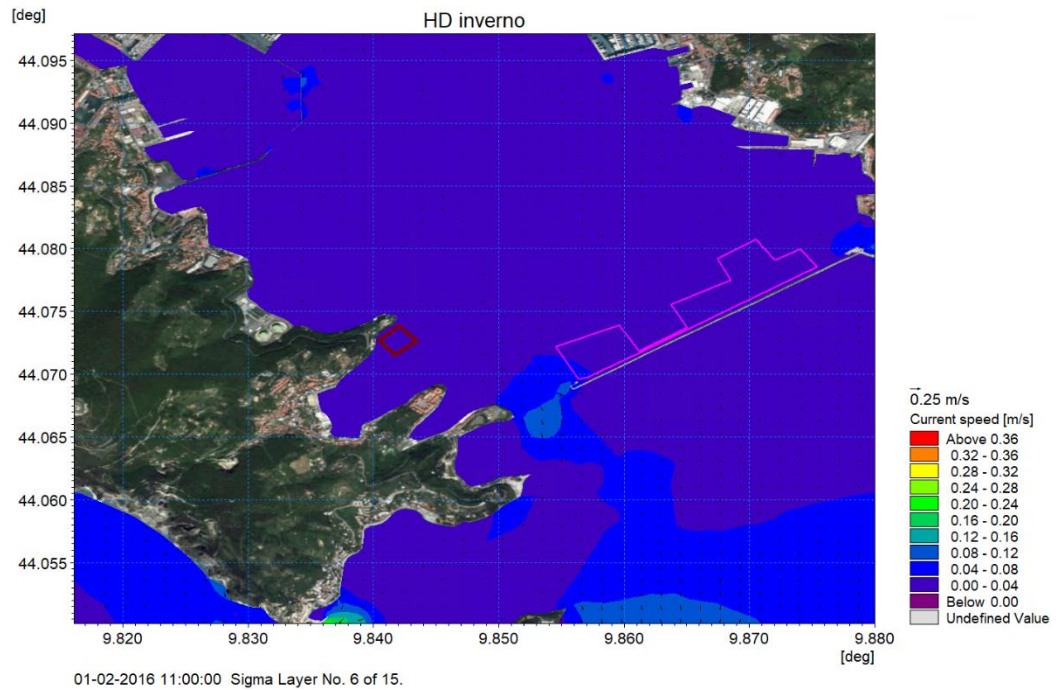


Figura 5-8 Campo di velocità al fondo durante il periodo invernale – 1 Febbraio 2016 alle ore 11:00

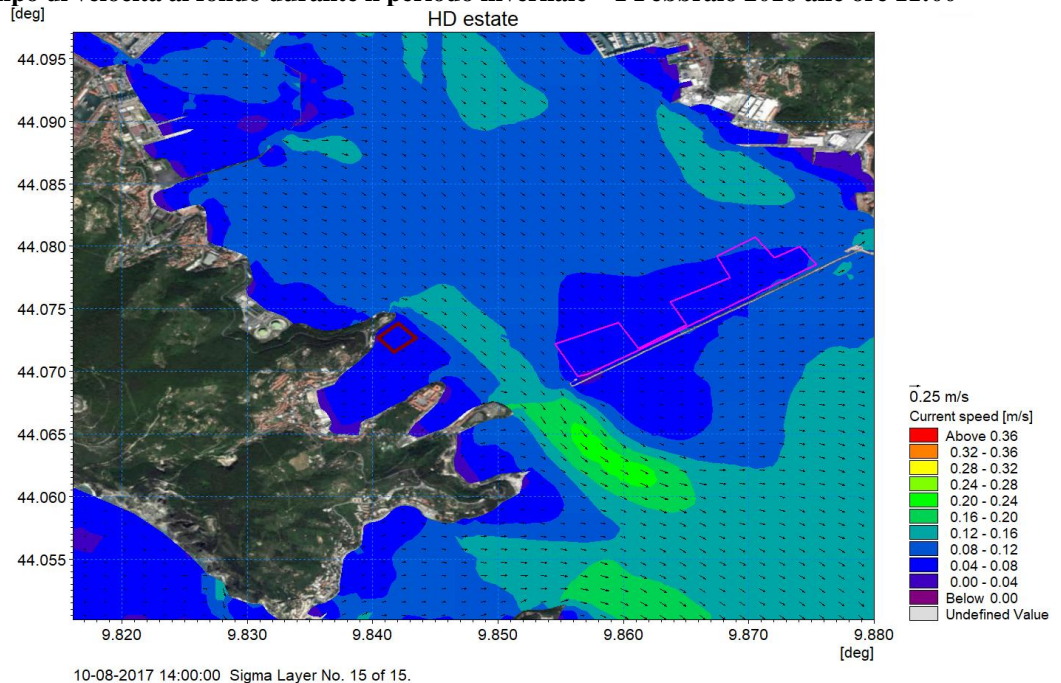


Figura 5-9 Campo di velocità in superficie durante il periodo estivo – 10 Agosto 2017 14:00

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA		REL-AMB-E-09108
	DOCUMENTO Studio a supporto del dragaggio dei fondali in corrispondenza del pontile per le navi metaniere di Panigaglia (SP) Studio modellistico di dispersione dei sedimenti		Fg. 26 di 154

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-108

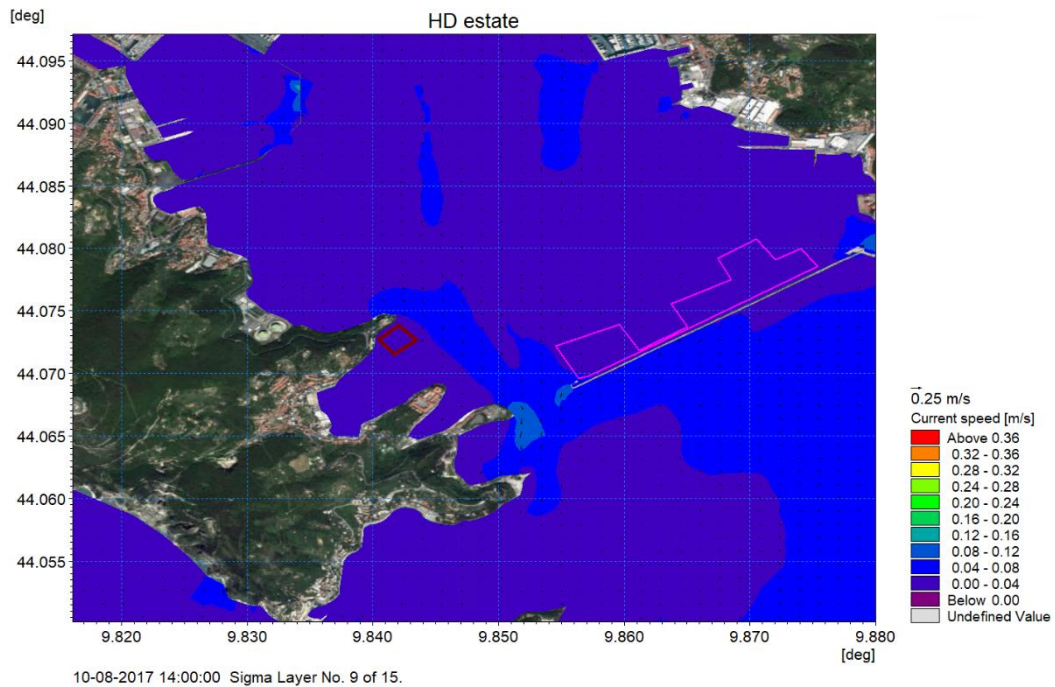


Figura 5-10 Campo di velocità alla profondità intermedia durante il periodo estivo – 10 Agosto 2017 14:00

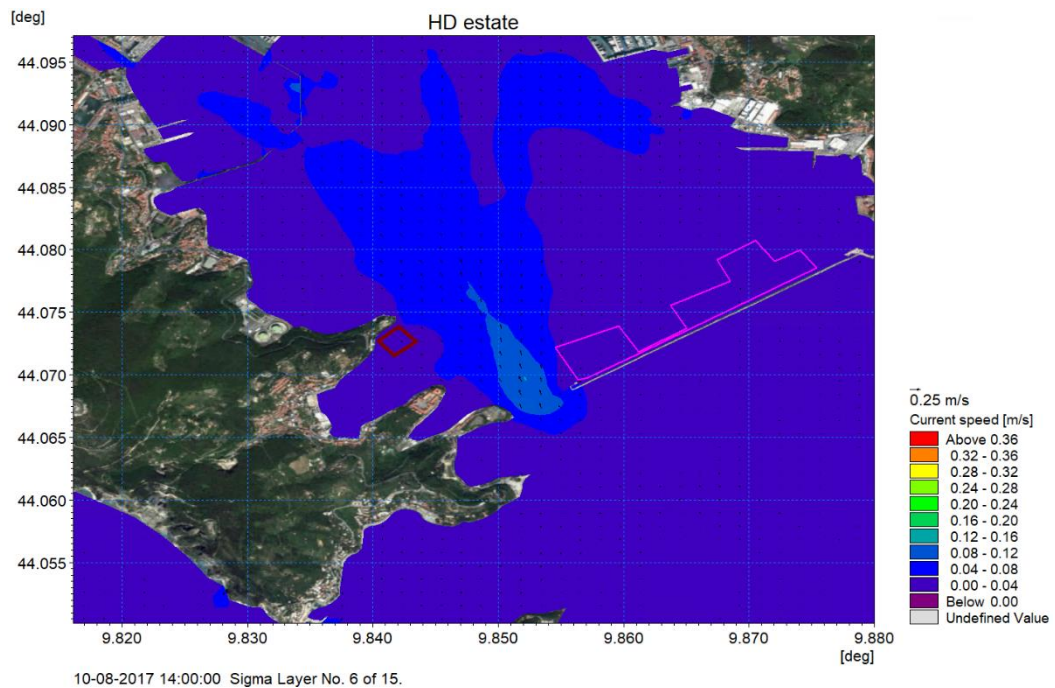


Figura 5-11 Campo di velocità al fondo durante il periodo estivo – 10 Agosto 2017 14:00

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA		REL-AMB-E-09108
	DOCUMENTO Studio a supporto del dragaggio dei fondali in corrispondenza del pontile per le navi metaniere di Panigaglia (SP) Studio modellistico di dispersione dei sedimenti		Fg. 27 di 154

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-108

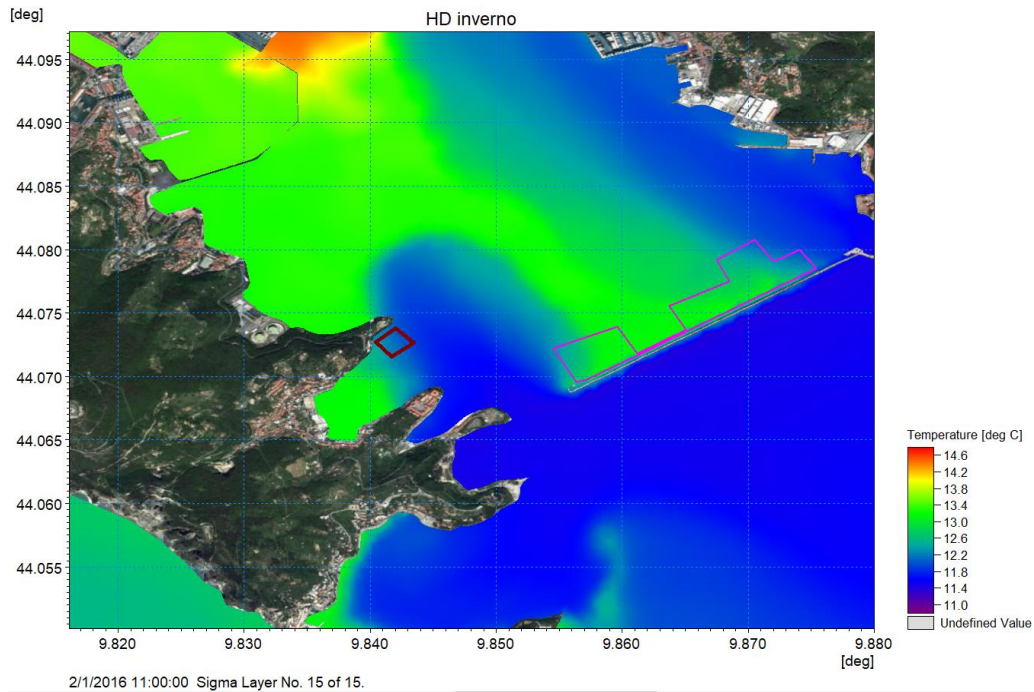


Figura 5-12 Campo di temperatura in superficie durante il periodo invernale. – 1 Febbraio 2016 alle ore 11:00

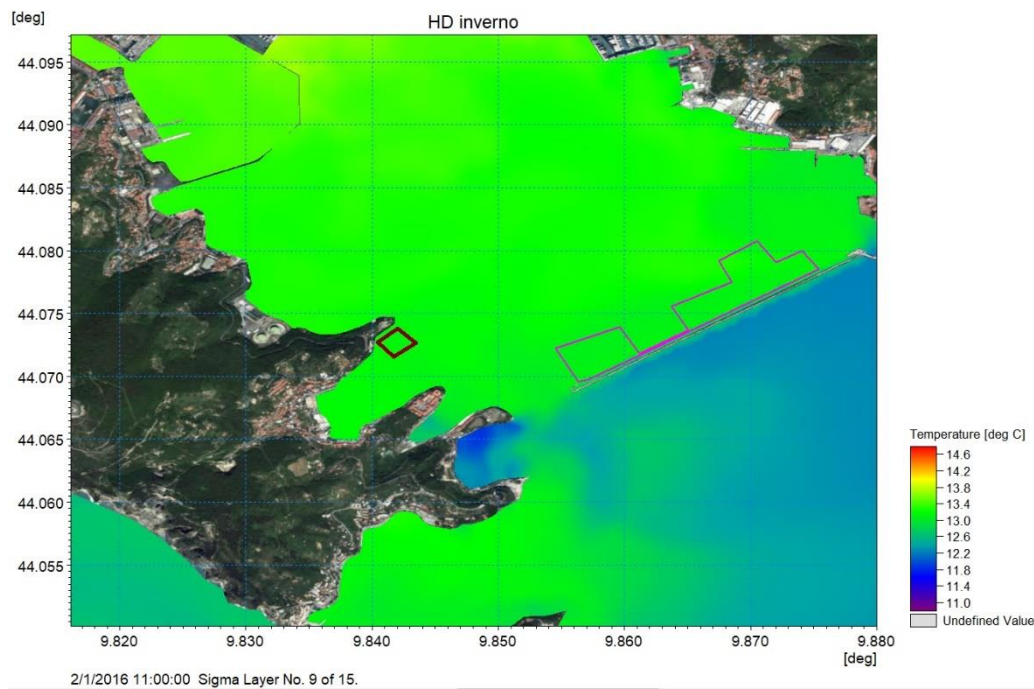


Figura 5-13 Campo di temperatura alla profondità intermedia durante il periodo invernale. – 1 Febbraio 2016 alle ore 11:00

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA		REL-AMB-E-09108
	DOCUMENTO Studio a supporto del dragaggio dei fondali in corrispondenza del pontile per le navi metaniere di Panigaglia (SP) Studio modellistico di dispersione dei sedimenti		Fg. 28 di 154

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-108

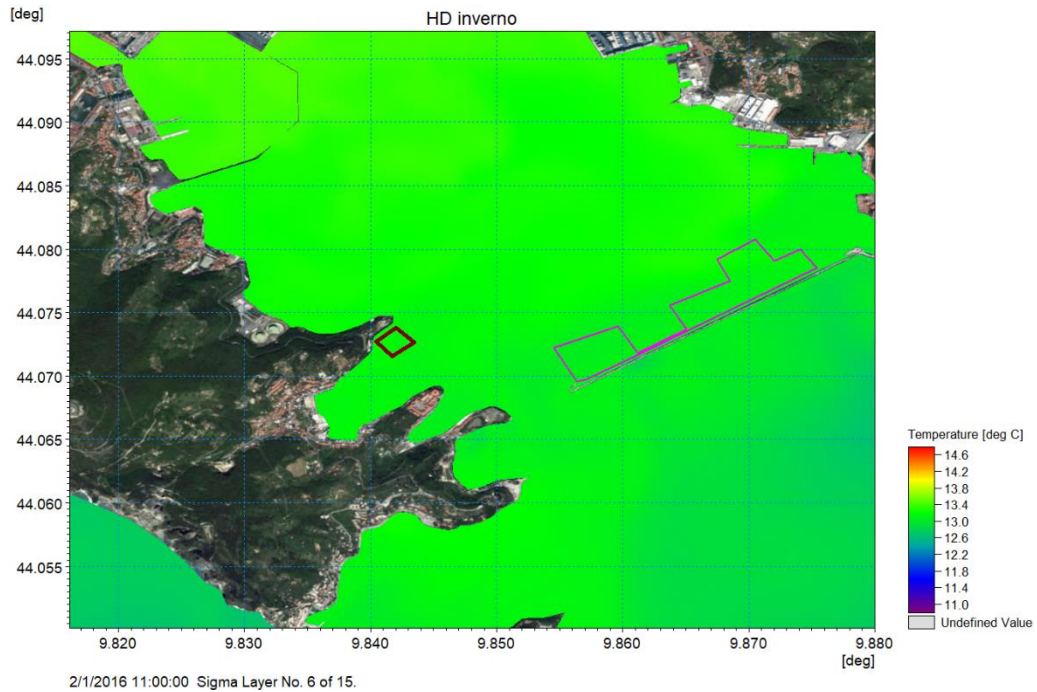


Figura 5-14 Campo di temperatura al fondo durante il periodo invernale. – 1 Febbraio 2016 alle ore 11:00

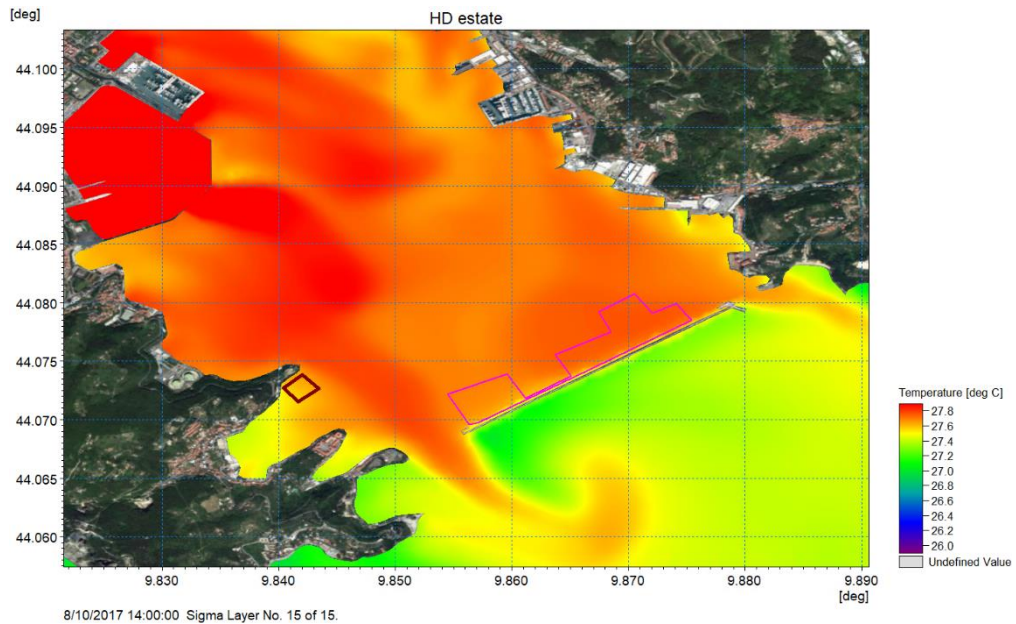


Figura 5-15 Campo di temperatura in superficie durante il periodo estivo – 10 Agosto 2017 14:00

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA		REL-AMB-E-09108
	DOCUMENTO Studio a supporto del dragaggio dei fondali in corrispondenza del pontile per le navi metaniere di Panigaglia (SP) Studio modellistico di dispersione dei sedimenti		Fg. 29 di 154

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-108

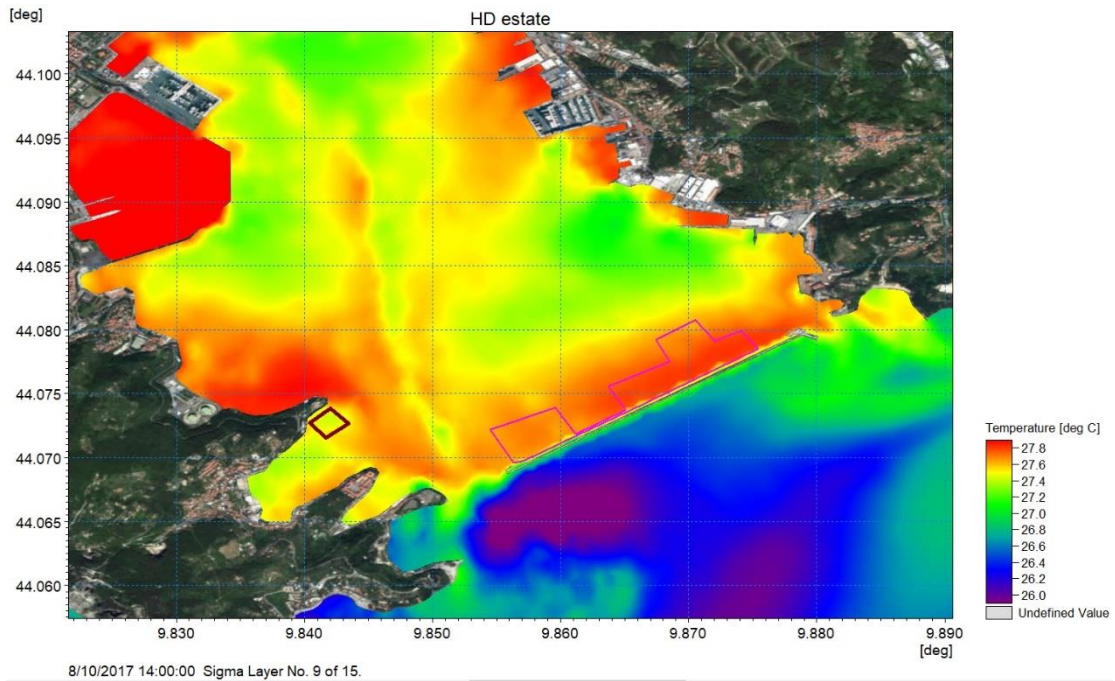


Figura 5-16 Campo di temperatura alla profondità intermedia durante il periodo estivo – 10 Agosto 2017 14:00

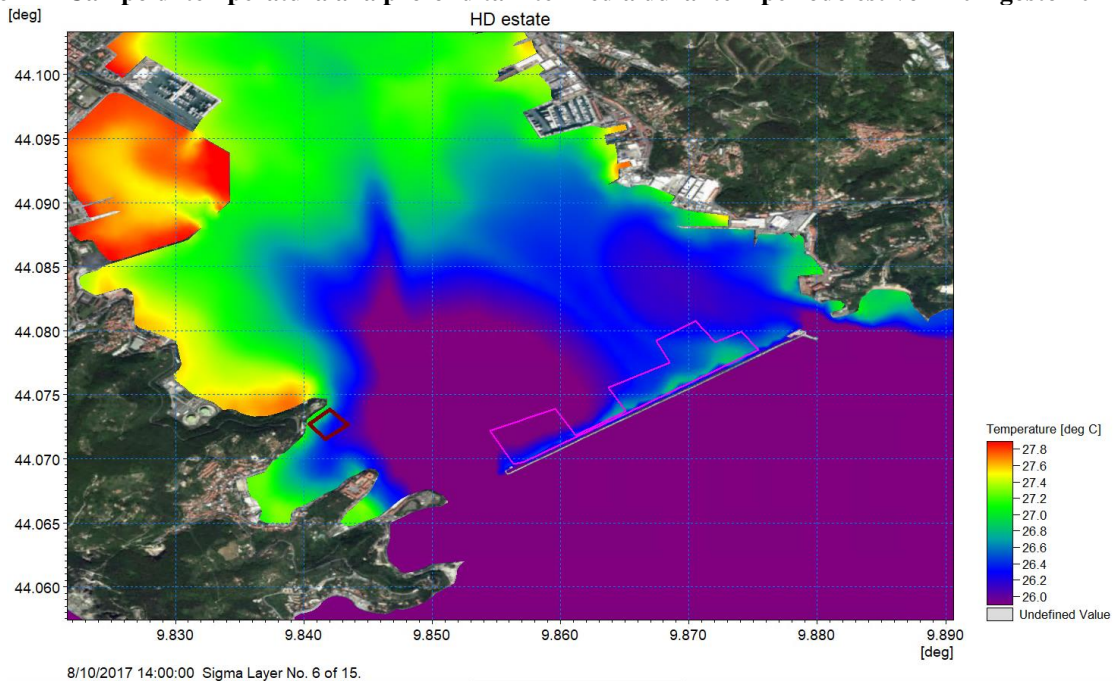


Figura 5-17 Campo di temperatura al fondo durante il periodo estivo – 10 Agosto 2017 14:00

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA	REL-AMB-E-09108	
	DOCUMENTO Studio a supporto del dragaggio dei fondali in corrispondenza del pontile per le navi metaniere di Panigaglia (SP) Studio modellistico di dispersione dei sedimenti	Fg. 30 di 154	Rev. 00

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-108

6. MODALITÀ OPERATIVE DI DRAGAGGIO

Le operazioni di dragaggio previste sono volte alla riprofilatura del fondale in prossimità del pontile di attracco delle navi metaniere (Panigaglia), ad ottenere una profondità uniforme del fondale di -14 m all'interno dell'area mostrata in Figura 6-1. Tale operazione porterà alla rimozione di un volume pari a circa 1'900'000 m³.



Figura 6-1 Inquadramento dell'area (in verde) soggetta alle operazioni di dragaggio

Nel presente elaborato si valutano gli effetti ambientali del dragaggio in riferimento a due differenti ipotesi di escavo:

- utilizzo della *Benna ambientale* (dragaggio di tipo meccanico);
- utilizzo della *Sorbona* (dragaggio di tipo idraulico).

La prima ipotesi di dragaggio prevede l'uso di una benna ambientale di capacità 35-40 m³, installata su un vessel che si posiziona durante le bennate con dei pali che vengono infissi nel fondale per circa 3-5 m. L'uso della benna ambientale, rispetto alla benna convenzionale, permette di ridurre l'impatto ambientale tramite accorgimenti costruttivi mirati principalmente ad impedire le perdite di materiale lungo la colonna d'acqua e l'aggiunta di acqua al materiale dragato durante la fase di risalita della benna. Per questa tipologia di dragaggio si ipotizza un volume dragato di circa 9'300 m³ al giorno.

Nel secondo caso, si utilizzerebbe la sorbona quale strumento per il dragaggio dell'area, ovvero una tipologia di draga idraulica che permette l'aspirazione (o suzione) di miscela di acqua e materiale sciolto del fondo. Tale tipologia operativa si basa su un ciclo di 3 ore: durante la prima ora si prevede il tragitto dal punto di scarico sedimenti all'area di dragaggio; la seconda ora viene dedicata all'effettivo dragaggio e durante la terza ora si prevede il tragitto dall'area di dragaggio al punto di scarico dei sedimenti. Ad ogni ciclo di tre ore si ipotizza un volume dragato di 9'000 m³ (ovvero 72'000 m³ al giorno^[PP1]), costituito da una miscela di 80% di acqua e 20% di materiale solido.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA	REL-AMB-E-09108	
	DOCUMENTO Studio a supporto del dragaggio dei fondali in corrispondenza del pontile per le navi metaniere di Panigaglia (SP) Studio modellistico di dispersione dei sedimenti	Fg. 31 di 154	Rev. 00

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-108

7. MODELLO 3D DI DISPERSIONE DEI SEDIMENTI

Il modello utilizzato per la simulazione della dispersione, il trasporto e la deposizione dei sedimenti messi in sospensione in seguito alle operazioni di dragaggio nell'area di interesse è MIKE 3 MT - *Mud Transport* [16] di DHI.

Il modulo MIKE 3 MT descrive l'erosione, il trasporto e la deposizione dei sedimenti sulla base delle simulazioni idrodinamiche effettuate con il modulo MIKE 3 HD.

L'applicazione del modulo MT include la simulazione di frazioni multiple di sedimenti e la simulazione di diversi strati costituenti il fondale e permette di rappresentare i seguenti fenomeni fisici:

- flocculazione, che si attiva per elevate concentrazioni di sedimento coesivo;
- effetti di densità ad alte concentrazioni di sedimento;
- sedimentazione ostacolata (hindered settling);
- consolidamento;
- variazioni morfologiche del fondale;

Una descrizione dettagliata del modello MIKE 3 MT è riportata nell'Allegato C.

In Figura 7-1 sono illustrati schematicamente i processi che sono simulabili con il modello MIKE 3 MT.

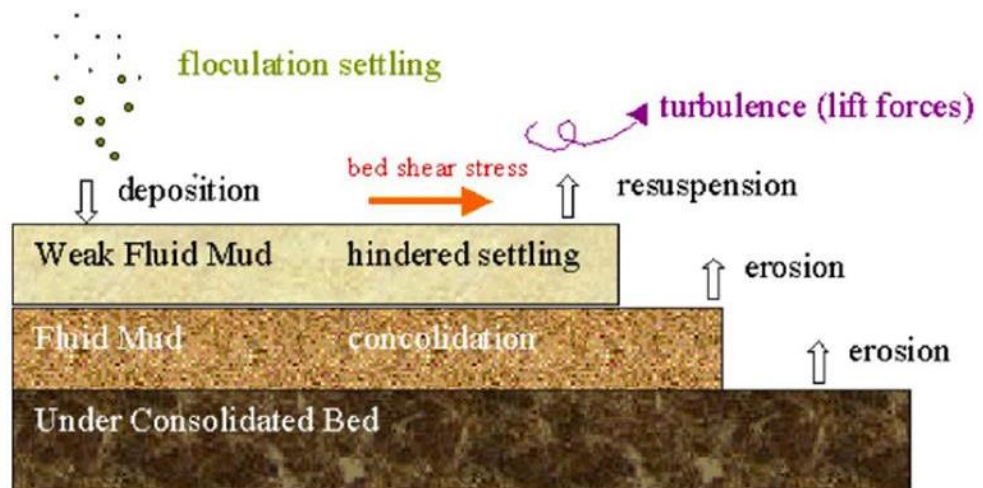


Figura 7-1: Rappresentazione schematica dei processi simulati in MIKE 3 MT

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA	REL-AMB-E-09108	
	DOCUMENTO Studio a supporto del dragaggio dei fondali in corrispondenza del pontile per le navi metaniere di Panigaglia (SP) Studio modellistico di dispersione dei sedimenti	Fg. 32 di 154	Rev. 00

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-108

7.1. Definizione dell'unità operativa di dragaggio

In accordo con [4], la metodologia adottata nel presente elaborato si basa sull'analisi a "scenari di dragaggio": viene definita cioè una "unità operativa" di dragaggio di riferimento sulla base di un fissato valore di volume di sedimenti da dragare, per cui l'intera area da dragare viene vista come la somma di tali unità operative di dragaggio.

Il volume di riferimento è stato posto pari al volume dragato dalla benna ambientale in una settimana - intesa come 6 giorni di lavoro effettivo 24/24h e un giorno di pausa – considerando il rateo di escavo giornaliero (ossia circa 9'300 m³/giorno, come descritto in sezione 6): tale volume risulta complessivamente pari a 55'800 m³.

L'unità operativa relativa alla sorbona viene definita considerando lo stesso volume dragato nell'unità operativa della benna ambientale, in modo da ottenere un confronto quantitativo tra le due ipotesi strumentali. Il *rateo* di dragaggio della sorbona è circa un ordine di grandezza superiore a quello della benna ambientale: infatti, se ad ogni ciclo di tre ore si ipotizza un volume dragato di 9'000 m³ (come descritto in sezione 6), in 24 ore viene dragato un volume complessivo di circa 72'000 m³. Pertanto, l'unità operativa della sorbona permette il dragaggio di 55'800 m³ in 18 ore, di cui 6 ore (ossia 1/3 del tempo) effettive di dragaggio e 12 ore (ossia 2/3 del tempo complessivo) di trasporto dei sedimenti dal sito delle operazioni al sito di deposito dei sedimenti e di ritorno dei mezzi al sito delle operazioni. La Tabella 7-1 fornisce una panoramica esaustiva della definizione delle unità operative della benna ambientale e della sorbona.

Si evidenzia che, al fine di poter procedere con l'approccio dell'unità operativa, è stato preliminarmente verificato che l'effetto cumulo, ossia la presenza del pennacchio di torbida generato da un'unità operativa all'inizio dell'unità operativa successiva, sia trascurabile. Questa verifica permette di escludere la sovrapposizione degli effetti tra le lavorazioni unitarie simulate in termini di torbidità residua in colonna d'acqua in relazione alla torbidità naturale del sito [18] e, quindi, come si può osservare dall'analisi dell'andamento della concentrazione di sedimento sospeso nel tempo (si veda ad esempio Figura 7-6), la sostanziale indipendenza di ogni unità operativa.

Tabella 7-1 Definizione delle unità operative per le due ipotesi di dragaggio tramite la benna ambientale e la sorbona: volume da dragare, durate delle operazioni per concludere l'unità operativa, rateo di escavo inteso come chili di sedimento al secondo dragati

	Unità operativa della benna ambientale	Unità operativa della sorbona
Volume da dragare [m³]	55800	
Durata delle operazioni	6 giorni + 1 di pausa	18 ore (ciclo di 3 ore di cui una effettiva di dragaggio)
Rateo di escavo [kg/s]	387	1325

Ai fini del presente elaborato, l'unità operativa di dragaggio è stata applicata per il dragaggio di due aree, selezionate come le più critiche all'interno dell'area complessiva di dragaggio. Tali aree, riportate in Figura 7-2 sono:

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA	REL-AMB-E-09108	
	DOCUMENTO Studio a supporto del dragaggio dei fondali in corrispondenza del pontile per le navi metaniere di Panigaglia (SP) Studio modellistico di dispersione dei sedimenti	Fg. 33 di 154	Rev. 00

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-108

- Area 1, porzione dell'area complessiva da dragare, scelta in quanto la più prossima all'allevamento ittico;
- Area 2, porzione dell'area complessiva da dragare, scelta in quanto la più prossima all'allevamento di mitili;

Si fa presente che le due aree hanno estensione differente, ma analogo volume di escavo, che è pari a quello che viene dragato durante l'unità operativa, di cui sopra. La diversa estensione è dovuta alle diverse profondità del fondale attuale: l'area 2 è caratterizzata da profondità maggiori per cui, a parità di superficie, richiede il dragaggio di un volume inferiore di sedimenti rispetto all'area 1.

L'avanzamento delle operazioni di dragaggio nelle due aree è stato definito sulla base di un'ipotesi realistica di percorso, come mostrato in Tabella 7-3.



Figura 7-2 Definizione delle due aree studio (in marrone), considerate le più critiche in riferimento alla vicinanza con l'allevamento ittico (a sinistra) e con l'allevamento di mitili (a destra)

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA	REL-AMB-E-09108	
	DOCUMENTO Studio a supporto del dragaggio dei fondali in corrispondenza del pontile per le navi metaniere di Panigaglia (SP) Studio modellistico di dispersione dei sedimenti	Fg. 34 di 154	Rev. 00

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-108



Figura 7-3 Ipotesi di percorso, per l'area 1 (a sinistra) e l'area 2 (a destra), durante l'unità operativa di dragaggio

7.2. Implementazione del modello di dispersione dei sedimenti

La *mesh* di calcolo adottata per il modello MIKE 3 MT è la stessa utilizzata nel modello HD.

Con lo scopo di simulare la dispersione e l'evoluzione del pennacchio di concentrazione di sedimento messo in sospensione durante le operazioni di dragaggio, si è provveduto alla definizione all'interno del modello delle caratteristiche dei sedimenti che saranno movimentati. In particolare, sono state inserite le informazioni riportate qui di seguito.

- **Componenti tessiturali e loro percentuali** (Tabella 3-1): come detto in precedenza, viene fatto riferimento al campione S02-Ci1, caratterizzato da una percentuale del 6.17% di sabbia, dal 32.26% di limo e dal restante 61.57% di argilla;
- **Velocità di sedimentazione delle tre frazioni granulometriche** (Tabella 7-2), calcolata a partire dal diametro medio di ciascuna componente tessiturale attraverso la formulazione di Stokes:

$$w = \frac{2R^2(d_e - d_i)g}{9\eta}$$

dove:

w = velocità di sedimentazione [m/s];
 R = raggio delle particelle disperse [m];
 d_i = densità della fase interna [kg/m³];
 d_e = densità della fase esterna [kg/m³];
 g = accelerazione di gravità [m/s²];
 η = viscosità della fase continua [m²/s];

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA	REL-AMB-E-09108	
	DOCUMENTO Studio a supporto del dragaggio dei fondali in corrispondenza del pontile per le navi metaniere di Panigaglia (SP) Studio modellistico di dispersione dei sedimenti	Fg. 35 di 154	Rev. 00

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-108

Tabella 7-2

Diametro medio e velocità di sedimentazione per ogni classe tessiturale considerata

Classe tessiturale	Diametro medio [mm]	Velocità di sedimentazione [mm/s]
Sabbia	0.25	54.96
Limo	0.0156	0.214
Argilla	0.002	0.004

- **Limite di flocculazione:** sulla base della pluridecennale esperienza del gruppo DHI in studi analoghi, l'attivazione della flocculazione è stata imposta per concentrazioni di sedimento coesivo superiori a 10 mg/l. Infatti, per concentrazioni maggiori la probabilità di collisione delle singole particelle di sedimento aumenta e di conseguenza, tende ad innescarsi il fenomeno della flocculazione. Quando si formano aggregazioni di particelle di sedimento, i cosiddetti "flocchi", la velocità di sedimentazione aumenta al crescere della concentrazione del sedimento. Nei sedimenti non coesivi (sabbie) tale fenomeno non si attiva e pertanto la velocità di sedimentazione può essere considerata costante ed indipendente dalla concentrazione del sedimento nella colonna d'acqua;
- **densità di riferimento:** la densità del materiale solido è impostata pari a 2650 kg/m³. Per il dragaggio di tipo meccanico, la densità secca (*dry density*) è impostata pari a 1087 kg/m³, derivata a partire dal contenuto d'acqua in situ del campione di sedimento preso a riferimento (ossia 58.96%, Tabella 3-1).
Per il dragaggio di tipo idraulico, la densità secca è impostata pari a 530 kg/m³, in virtù dell'elevato contenuto d'acqua (pari all'80%) nel volume dragato, dovuto all'aspirazione del sedimento con pompa idraulica;
- **limite di sedimentazione ostacolata:** sulla base della pluridecennale esperienza del gruppo DHI in studi analoghi l'attivazione della sedimentazione ostacolata è stata imposta per concentrazioni di sedimento coesivo superiori a 10'000 mg/l. Questo fenomeno si innesca infatti quando, a causa dell'elevata concentrazione, le particelle entrano in collisione tra loro e non sono in grado di sedimentare "liberamente" verso il fondo;
- **fondo naturale considerato non erodibile**, al fine di evitare che la stima della torbidità e della deposizione durante le operazioni sia influenzata dalla eventuale risospensione naturale del sedimento. È invece ammessa la possibilità che il sedimento depositato a seguito delle operazioni sia soggetto a risospensione;
- **tensione tangenziale critica al fondo**, ossia la tensione oltre la quale il sedimento depositato viene messo in sospensione dalle forzanti in gioco, è stata imposta pari a 0.1N/m², valore valido per sedimenti coesivi poco consolidati;
- **localizzazione del rilascio di sedimento**, che è coincidente con la posizione della draga, variabile nel tempo durante la simulazione: questa informazione viene specificata nel modello MIKE 3 MT attraverso l'applicazione del cosiddetto "*dredging module*". Pertanto, durante il periodo delle attività di dragaggio, il rilascio di sedimenti si sposta, all'interno del modello, seguendo il tracciato definito per le due aree studio (Figura 7-3);

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA	REL-AMB-E-09108	
	DOCUMENTO Studio a supporto del dragaggio dei fondali in corrispondenza del pontile per le navi metaniere di Panigaglia (SP) Studio modellistico di dispersione dei sedimenti	Fg. 36 di 154	Rev. 00

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-108

- **spill di sedimento**, ossia quota parte del volume di escavo che viene rilasciato in colonna d'acqua durante la fase di dragaggio. In riferimento alle linee guida ISPRA [5]: è stato utilizzato uno *spill* pari al 5% del volume dragato per il dragaggio di tipo idraulico (così come proposto da [4] e riportato nelle linee guida) ed uno *spill* pari al 3% per il dragaggio di tipo meccanico con benna ambientale. Questo valore rappresenta sostanzialmente una media (comunque cautelativa) tra quanto proposto da [4] per le draghe meccaniche (pari al 5%) e lo *spill* teorico (pari a 0) delle draghe di tipo 'ambientale'. Lo *spill* viene definito come uniformemente distribuito lungo la colonna d'acqua per la benna ambientale e localizzato nello strato di fondo per la sorbona, in virtù delle loro caratteristiche operative.

Ai limiti del modello MIKE 3 MT, è stata impostata una condizione di Dirichlet, ovvero confini aperti con valori specificati. Nello studio in corso, i confini del modello sono posizionati lontano dall'area interessata dalle operazioni di dragaggio; inoltre, la torbidità naturale non è oggetto specifico dell'analisi. Per questi motivi, lungo i confini aperti è stata assunta una concentrazione di sedimento pari a zero.

Come condizioni iniziali, è stato impostato un valore nullo per la concentrazione di sedimenti sospesi. Pertanto, si è tenuto conto solo della torbidità generata dalle operazioni di dragaggio.

La base idrodinamica realistica di durata pari a due settimane per entrambi i periodi (invernale ed estivo) e la definizione delle unità operative riportate alla sezione 7.1 ha permesso un approccio per le simulazioni di trasporto di sedimento a "finestre mobili" [5]:

- Per la tipologia di draga meccanica (unità operativa definita come 6 giorni di operazioni non-stop seguiti da un giorno di pausa), all'interno delle due settimane di simulazione idrodinamica sono stati definiti 8 scenari di MT, che si attivano ogni giorno, dal giorno 1 al giorno 8, e durano 7 giorni ciascuno;
- Per la tipologia di draga idraulica (unità operativa definita come 18 ore di operazioni di cui 6 di dragaggio effettivo), all'interno delle due settimane di simulazione idrodinamica sono stati definiti 14 scenari di MT, che si attivano ogni giorno, dal giorno 1 al giorno 14, e durano 18 ore ciascuno.

Il totale delle simulazioni di trasporto di sedimento è così risultato pari a 32 per la benna ambientale (8 simulazioni per lo scenario invernale e 8 per lo scenario estivo, per entrambe le aree critiche di studio) e pari a 56 per la sorbona (14 simulazioni per lo scenario invernale e 14 per lo scenario estivo, per entrambe le aree critiche di studio).

Si sottolinea come l'approccio a finestre mobili risulti pienamente conforme ai contenuti delle già citate linee guida ISPRA del 2017 [5].

Questo approccio consente, da un lato, di catturare la variabilità naturale del sistema - cosa altrimenti impossibile attraverso un approccio basato su scenari classici - e, dall'altro lato, di effettuare un post-processing molto più significativo degli output da un punto di vista statistico.

Tabella 7-3 Schema delle simulazioni di trasporto sedimenti: ogni simulazione corrisponde al dragaggio di 55'00 m³, scelto come unità di volume di riferimento (si veda sezione 7.1)

	GIORNO
--	---------------

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA	REL-AMB-E-09108	
	DOCUMENTO Studio a supporto del dragaggio dei fondali in corrispondenza del pontile per le navi metaniere di Panigaglia (SP) Studio modellistico di dispersione dei sedimenti	Fg. 37 di 154	Rev. 00

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-108

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
DRAGA MECCANICA	N=1														
		N=2													
			N=3												
				N=4											
					N=5										
						N=6									
							N=7								
								N=8							
DRAGA IDRAULICA	N=1														
		N=2													
			N=3												
				N=4											
					N=5										
						N=6									
							N=7								
								N=8							
									N=9						
										N=10					
											N=11				
												N=12			
													N=13		
														N=14	

7.3. Risultati del modello di dispersione dei sedimenti

I risultati ottenuti mediante l'applicazione del modello MIKE 3 MT sono riportati nei paragrafi a seguire in termini di distribuzione spaziale della **concentrazione di sedimento sospeso relativa al 98° percentile**,

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA	REL-AMB-E-09108	
	DOCUMENTO Studio a supporto del dragaggio dei fondali in corrispondenza del pontile per le navi metaniere di Panigaglia (SP) Studio modellistico di dispersione dei sedimenti	Fg. 38 di 154	Rev. 00

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-108

in termini totali (inteso come somma delle tre frazioni, sabbia, limo e argilla) per tre profondità: al fondo, a metà colonna d'acqua, e in superficie. Si evidenzia che il 98° percentile corrisponde a valori di concentrazione di sedimenti in sospensione che sono stati superati il 2% del tempo durante l'unità operativa, ossia quasi 3 ore per la tipologia di dragaggio meccanico e quasi mezz'ora per quella idraulica.

Le mappe sono ottenute come media tra le concentrazioni relative al 98° percentile di ogni simulazione effettuata (media tra le 8 simulazioni per la benna ambientale e tra le 14 simulazioni per la sorbona effettuate entro le due settimane di disponibilità idrodinamica, si veda Tabella 7-3). Si evidenzia che queste mappe di concentrazione rappresentano gli involuipi delle condizioni peggiori che si possono raggiungere in diversi istanti in ogni punto del dominio durante il periodo di esecuzione dei lavori; non sono quindi rappresentativi di uno specifico istante temporale.

In particolare, nelle sezioni e 7.3.2 sono mostrati i risultati relativi all'unità operativa rispettivamente per il dragaggio meccanico e per quello idraulico, divisi a seconda del periodo stagionale simulato (estivo o invernale, si veda sezione 4) e dell'area critica dragata (area 1 o area 2 sulla base di quanto definito alla sezione 7.1).

La scelta del valore minimo di riferimento della concentrazione di sedimento rappresentabile nelle mappe illustrate non è immediata in quanto non esiste in assoluto un valore limite accettabile di concentrazione di sedimento sospeso, ma l'accettabilità o meno di concentrazioni di sedimento sospeso dipende in ogni caso dallo specifico contesto di riferimento (ambiente ed ecosistema). A livello internazionale ([19] e [20]) la concentrazione di 2 mg/l viene diffusamente considerata la soglia al di sotto della quale l'acqua è da considerarsi "limpida", offrendo quindi garanzia per la salute di qualsiasi specie naturale. L'acqua inizia in genere ad essere definita "torbida" quando i valori di concentrazione di sedimento sospeso superano i 6÷10 mg/l.

Tuttavia, tali valori soglia non sono rappresentativi per il presente studio in quanto la rada di Spezia è caratterizzata da una non trascurabile torbidità già in condizioni indisturbate. Per contestualizzare quindi le concentrazioni di solidi sospesi ottenute dalle simulazioni, si è fatto riferimento al valore di concentrazione di **33 mg/l**, determinato il 26-27 febbraio 2021 dal Prof. Marco Capello (DISTAV) dell'Università degli Studi di Genova [18][CV2][PP3], valore già identificato nell'ambito della Verifica di Ottemperanza alle condizioni ambientali contenute nel Parere della CTVA n. 451 del 28/03/2022 allegato al Decreto di esclusione da VIA, DM n. 108 del 20/06/2022 (Condizione Ambientale n. 3), ottemperata positivamente visto il contributo della Regione Liguria di cui al prot. 2023-1462993 del 02/11/2023 trasmesso alla Commissione Tecnica di Verifica dell'Impatto Ambientale VIA/VAS del Ministero della Transizione Ecologica.

Le misurazioni sono avvenute attraverso due uscite ante-operam al largo di Panigaglia, utilizzando un correntometro profilante ad Effetto Doppler (ADCP) e una sonda multiparametrica CTD con sensore per la torbidità. Durante queste uscite, sono stati prelevati campioni d'acqua a diverse profondità per determinare la quantità di materiale particellato sospeso e calibrare il sensore di torbidità della sonda multiparametrica presso il Laboratorio di Oceanografia fisica del DISTAV. La prima uscita è stata condotta in condizioni normali, senza gasiere ormeggiate al molo principale dell'impianto, mentre la seconda è stata eseguita al termine delle operazioni di ormeggio della gasiera. Quest'ultima è avvenuta in condizioni "disturbate" (a causa delle eliche della nave e dei rimorchiatori), con torbidità notevolmente superiori a quelle riscontrate in condizioni normali. Nelle aree target (zone di allevamento dei pesci e dei mitili) si fa pertanto riferimento a 33 mg/l come valore soglia per le concentrazioni, che risulta anche essere un valore cautelativo rispetto a quanto ottenuto da ARPAL-ISPRA nell'area (pari a 54 mg/l).

Un ulteriore risultato derivato dal modello MIKE 3 MT è dato dalle serie temporali relative alla concentrazione di solidi sospesi totali in diversi punti del dominio di calcolo. Nello specifico, queste serie temporali sono state estratte in tre punti di particolare interesse per la presente analisi, come mostrato in Figura 7-4: un punto in corrispondenza dell'allevamento ittico, uno in corrispondenza dell'allevamento di

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA	REL-AMB-E-09108	
	DOCUMENTO Studio a supporto del dragaggio dei fondali in corrispondenza del pontile per le navi metaniere di Panigaglia (SP) Studio modellistico di dispersione dei sedimenti	Fg. 39 di 154	Rev. 00

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-108

mitili ed uno a Nord della rada, verso la città di La Spezia. Le estrazioni sono state eseguite per ognuna delle simulazioni di MT e a tre diverse profondità (fondo, metà colonna e superficie).

In Figura 7-6 si riportano, a titolo di esempio, le serie temporali estratte per una specifica simulazione condotta per l'unità operativa relativa all'area 1 durante il periodo estivo: a sinistra sono riportati i risultati ottenuti per il dragaggio meccanico (finestra temporale 8 Agosto 2017 00:00 – 15 Agosto 2017 00:00), mentre a destra i risultati relativi al dragaggio idraulico (finestra temporale 8 Agosto 2017 00:00 – 8 Agosto 2017 18:00).

Le serie temporali di tutte le simulazioni sono riportate nell'allegato A al presente elaborato.



Figura 7-4 Posizione dei tre punti di estrazione delle serie temporali di concentrazione di solidi sospesi totali

I risultati mostrano che vi è una significativa differenza tra i risultati ottenuti per l'unità operativa relativa al dragaggio meccanico e a quello idraulico: le mappe di concentrazione per il primo caso indicano che generalmente si ha una maggiore estensione spaziale del pennacchio di torbida, ma le concentrazioni massime raggiunte sono inferiori rispetto al caso di utilizzo della sorbona.

Facendo riferimento, ad esempio, ai risultati del periodo estivo, le mappe relative al dragaggio meccanico nell'area 1 (Figura 7-7, Figura 7-8 e Figura 7-9) per il percentile considerato mostrano concentrazioni fino a 320 mg/l in corrispondenza dell'area di escavo per lo strato di fondo (Figura 7-7) e fino a 170 mg/l in superficie (Figura 7-9); concentrazioni superiori al valore soglia di 33 mg/l si hanno entro un'area di circa 1 km, con poche differenze lungo la colonna d'acqua.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA	REL-AMB-E-09108	
	DOCUMENTO Studio a supporto del dragaggio dei fondali in corrispondenza del pontile per le navi metaniere di Panigaglia (SP) Studio modellistico di dispersione dei sedimenti	Fg. 40 di 154	Rev. 00

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-108

Il dragaggio idraulico (Figura 7-19, Figura 7-20 e Figura 7-21), d'altra parte, genera un pennacchio di torbida confinato allo strato di fondo, con concentrazioni localmente superiori a 1000 mg/l (Figura 7-19). Tali elevate concentrazioni si abbattano rapidamente risalendo la colonna d'acqua, fino a raggiungere in superficie concentrazioni pari a 65 mg/l (Figura 7-21), in corrispondenza dell'area di escavo. Inoltre, l'area entro cui si superano i 33 mg/l risulta, per lo strato di fondo, di simile estensione a quella ottenuta per il dragaggio meccanico (si veda Figura 7-7 per la benna e Figura 7-19 per la sorbona), ma inferiore per gli strati più superficiali. A tal proposito si ribadisce il diverso metodo di dragaggio tra le due tecnologie, che influisce sulla diversa modalità di rilascio del sedimento (uniformemente distribuito lungo la colonna per la benna e confinato allo strato di fondo per la sorbona) e di conseguenza sul diverso impatto lungo la colonna d'acqua.

Le differenze in termini di estensione orizzontale e verticale del pennacchio di sedimenti tra il periodo estivo e quello invernale sono sostanzialmente trascurabili, in quanto la stratificazione termica e la formazione del termoclino (tipici del periodo estivo) non sono significativi all'interno della rada.

Ponendo l'attenzione verso i due target sensibili dell'area, si osserva che nella zona dell'allevamento dei mitili le concentrazioni risultano sempre inferiori alla soglia di 33 mg/l, mentre nella zona dell'allevamento di pesci il valore soglia viene sovente superato durante le operazioni di dragaggio dell'area 1 (si veda ad esempio la Figura 7-5 per la benna ambientale e la Figura 7-25 per la sorbona), seppur per brevi istanti temporali. Osservando le serie temporali in corrispondenza dell'allevamento ittico (in allegato A) si può notare che le alte concentrazioni si sviluppano per un breve arco temporale (in funzione dell'idrodinamica locale della specifica finestra temporale, varia da un'ora a 24 ore al massimo), per poi scendere a livelli sotto soglia. Questo significa che i picchi di concentrazione che si verificano nell'area dell'allevamento ittico si hanno quando, durante il dragaggio dell'area 1, si genera una specifica condizione idrodinamica locale che spinge i sedimenti in direzione Sud-Ovest.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA	REL-AMB-E-09108	
	DOCUMENTO Studio a supporto del dragaggio dei fondali in corrispondenza del pontile per le navi metaniere di Panigaglia (SP) Studio modellistico di dispersione dei sedimenti	Fg. 41 di 154	Rev. 00

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-108

Simulazione_05_MT-mec-aug-area1

Simulazione_05_MT-idr-aug-area1

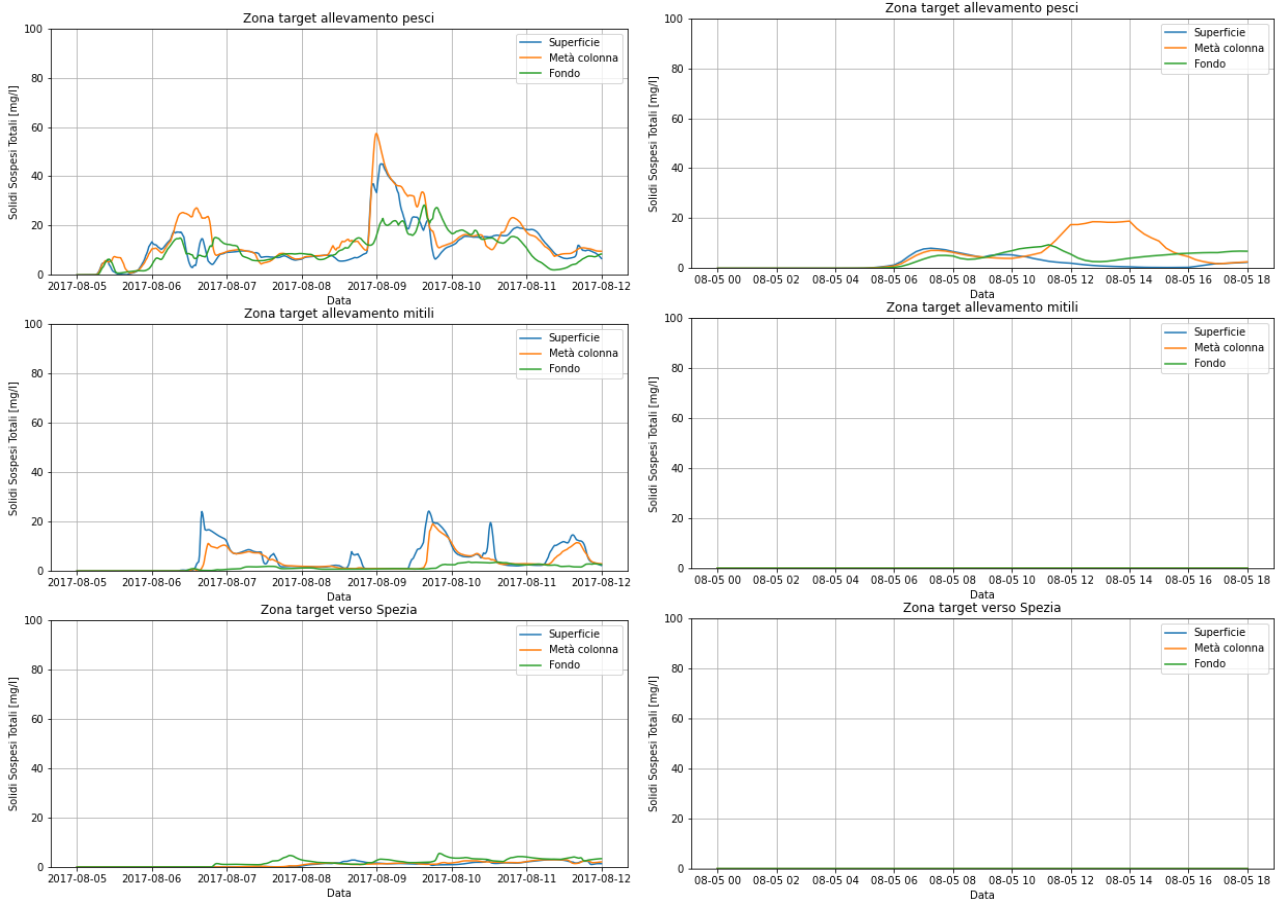


Figura 7-6 Serie temporali estratte in corrispondenza dell'allevamento di pesci (in alto), dell'allevamento dei mitili (al centro) e nella zona Nord della rada (in basso) per una simulazione durante il periodo estivo nell'area 1, relativa al dragaggio meccanico (a sinistra) e a quello idraulico (a destra)

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA		REL-AMB-E-09108
	DOCUMENTO Studio a supporto del dragaggio dei fondali in corrispondenza del pontile per le navi metaniere di Panigaglia (SP) Studio modellistico di dispersione dei sedimenti		Fg. 42 di 154

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-108

7.3.1. Risultati relativi al dragaggio di tipo meccanico
 7.3.1.1. PERIODO ESTIVO – AREA 1

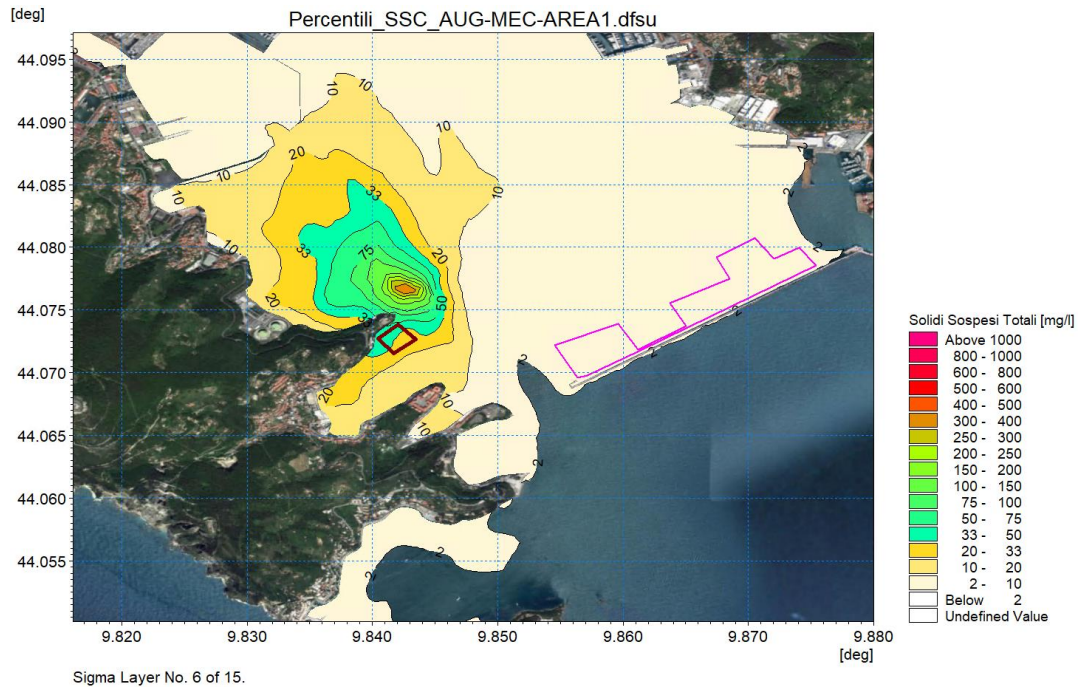


Figura 7-7 Mappa relativa al 98° percentile delle concentrazioni al fondo di solidi sospesi totali, in riferimento al dragaggio meccanico dell'area 1 durante il periodo estivo

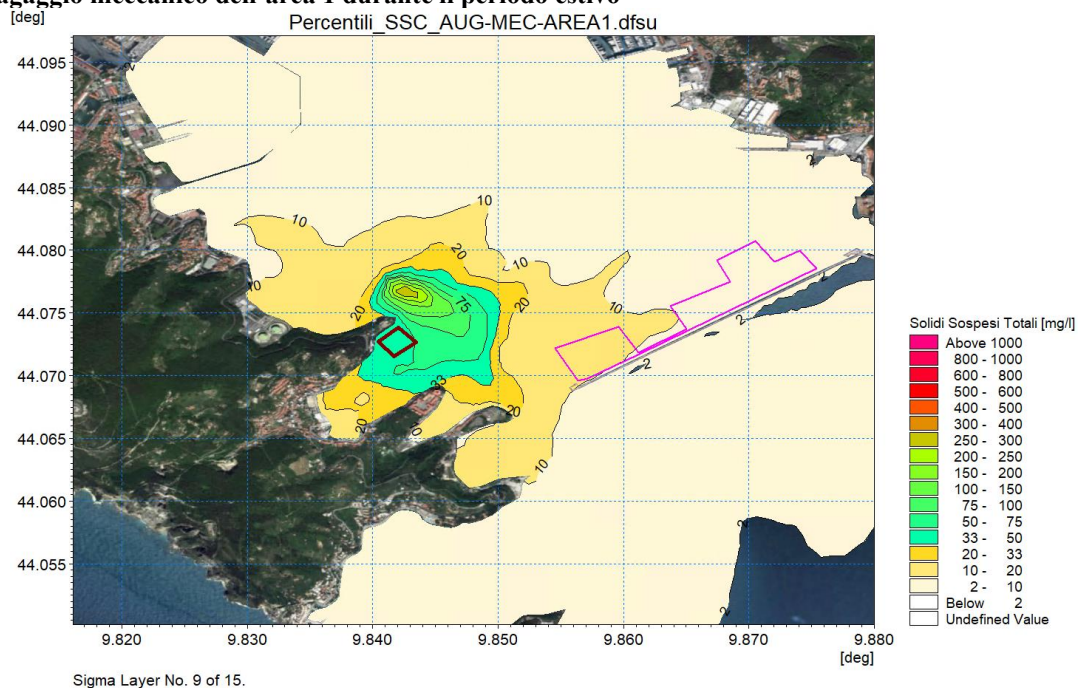


Figura 7-8 Mappa relativa al 98° percentile delle concentrazioni a metà colonna di solidi sospesi totali, in riferimento al dragaggio meccanico dell'area 1 durante il periodo estivo

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA	REL-AMB-E-09108	
	DOCUMENTO Studio a supporto del dragaggio dei fondali in corrispondenza del pontile per le navi metaniere di Panigaglia (SP) Studio modellistico di dispersione dei sedimenti	Fg. 43 di 154	Rev. 00

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-108

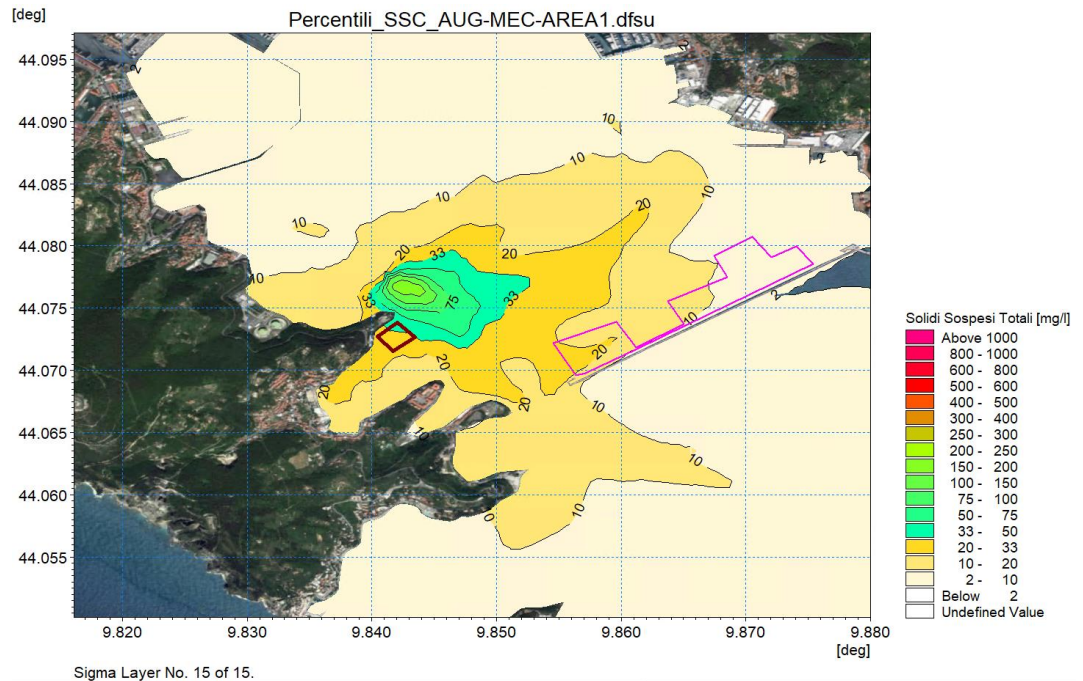


Figura 7-9 Mappa relativa al 98° percentile delle concentrazioni in superficie di solidi sospesi totali, in riferimento al dragaggio meccanico dell'area 1 durante il periodo estivo

7.3.1.2. PERIODO ESTIVO – AREA 2

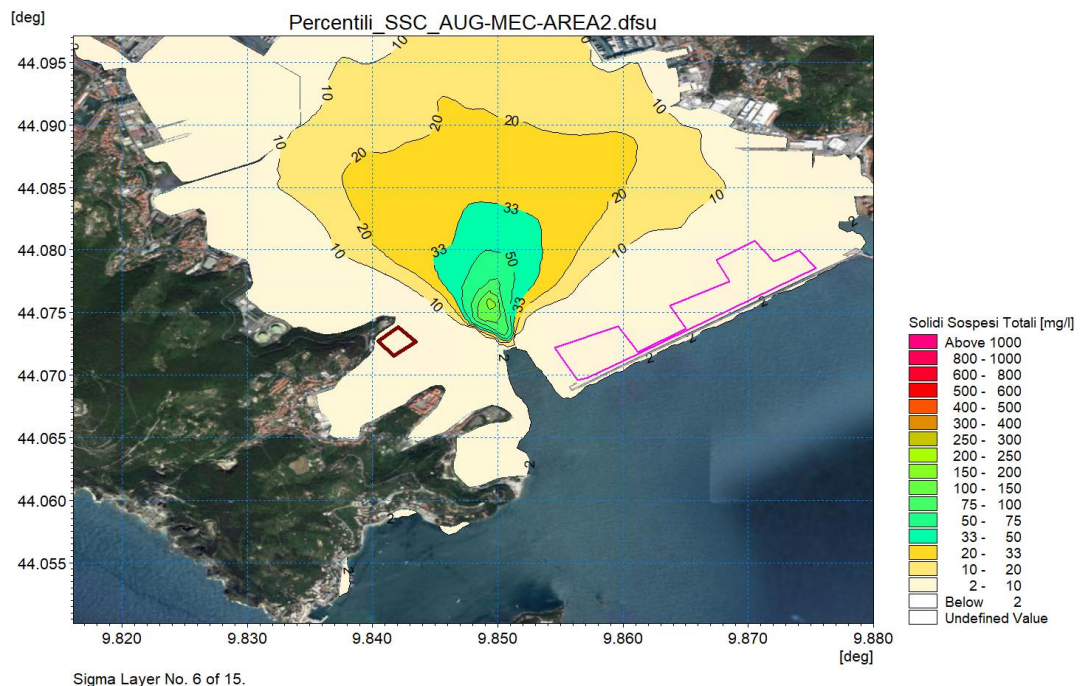


Figura 7-10 Mappa relativa al 98° percentile delle concentrazioni in superficie di solidi sospesi totali, in riferimento al dragaggio meccanico dell'area 2 durante il periodo estivo

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA	REL-AMB-E-09108	
	DOCUMENTO Studio a supporto del dragaggio dei fondali in corrispondenza del pontile per le navi metaniere di Panigaglia (SP) Studio modellistico di dispersione dei sedimenti	Fg. 44 di 154	Rev. 00

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-108

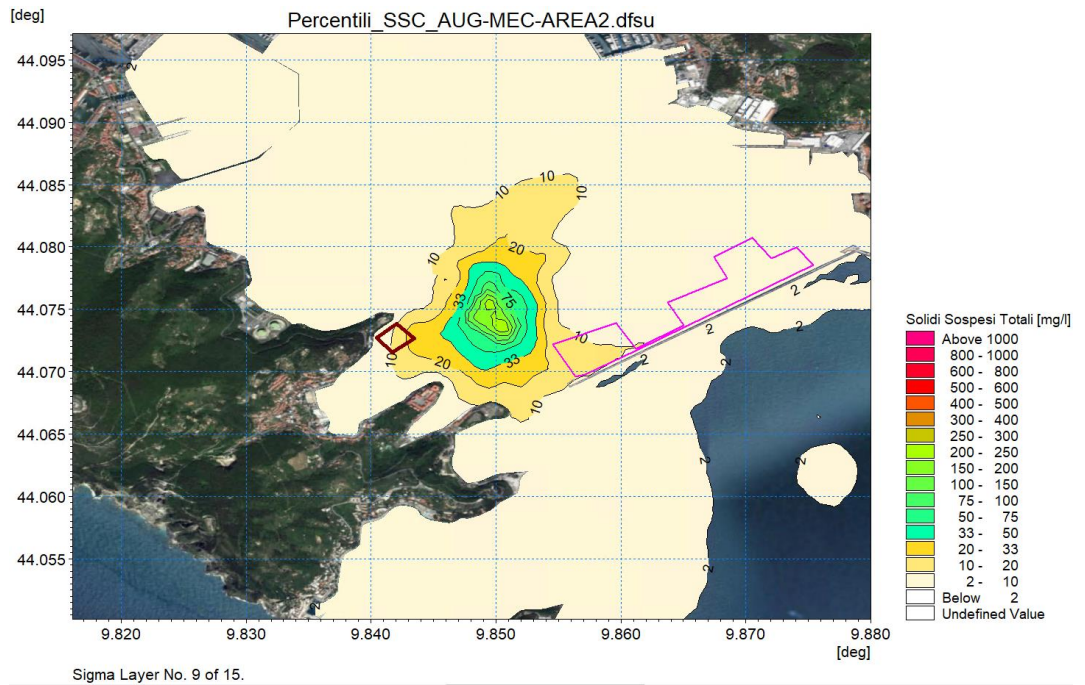


Figura 7-11 Mappa relativa al 98° percentile delle concentrazioni a metà colonna di solidi sospesi totali, in riferimento al dragaggio meccanico dell'area 2 durante il periodo estivo

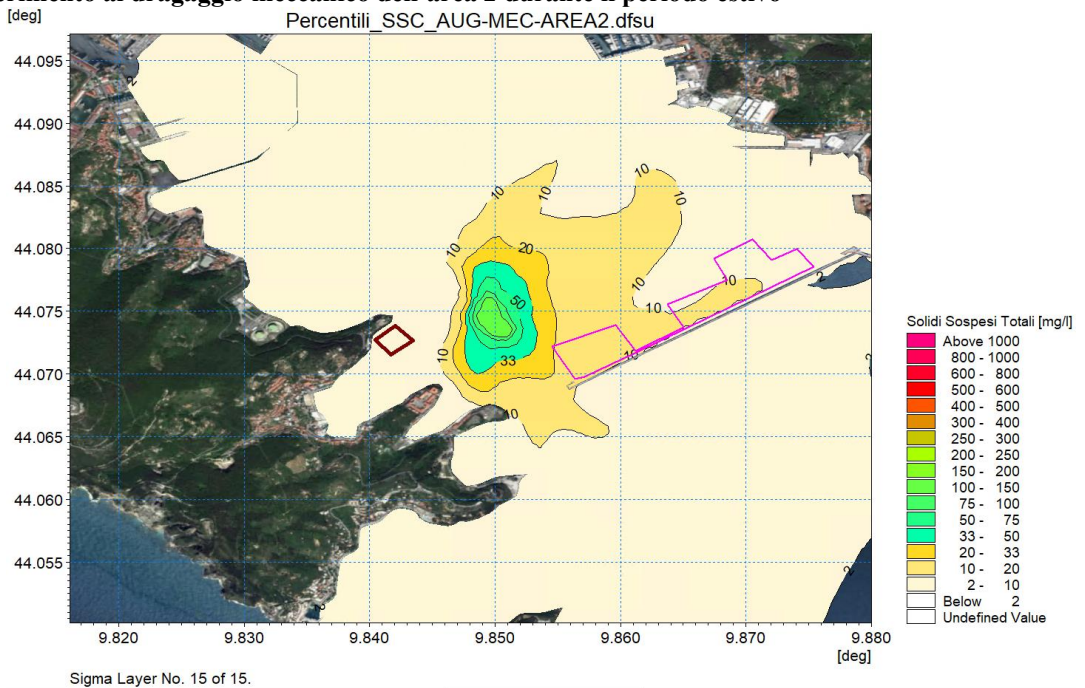


Figura 7-12 Mappa relativa al 98° percentile delle concentrazioni in superficie di solidi sospesi totali, in riferimento al dragaggio meccanico dell'area 2 durante il periodo estivo

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA		REL-AMB-E-09108
	DOCUMENTO Studio a supporto del dragaggio dei fondali in corrispondenza del pontile per le navi metaniere di Panigaglia (SP) Studio modellistico di dispersione dei sedimenti		Fg. 45 di 154

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-108

7.3.1.3. PERIODO INVERNALE – AREA 1

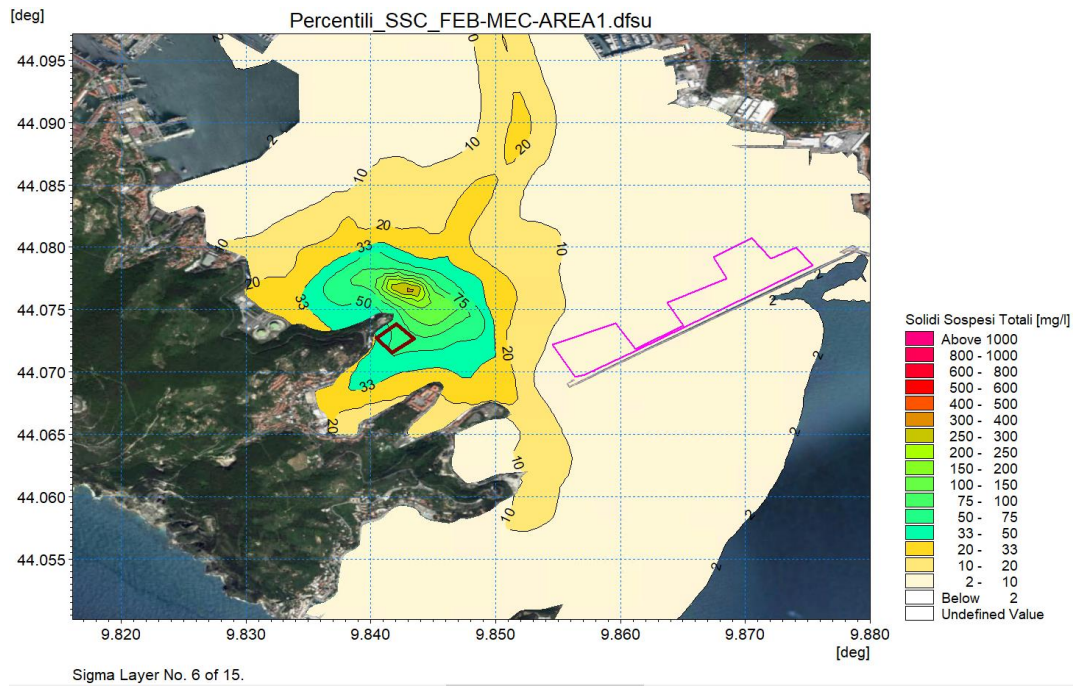


Figura 7-13 **Mappa relativa al 98° percentile delle concentrazioni al fondo di solidi sospesi totali, in riferimento al dragaggio meccanico dell'area 1 durante il periodo invernale**

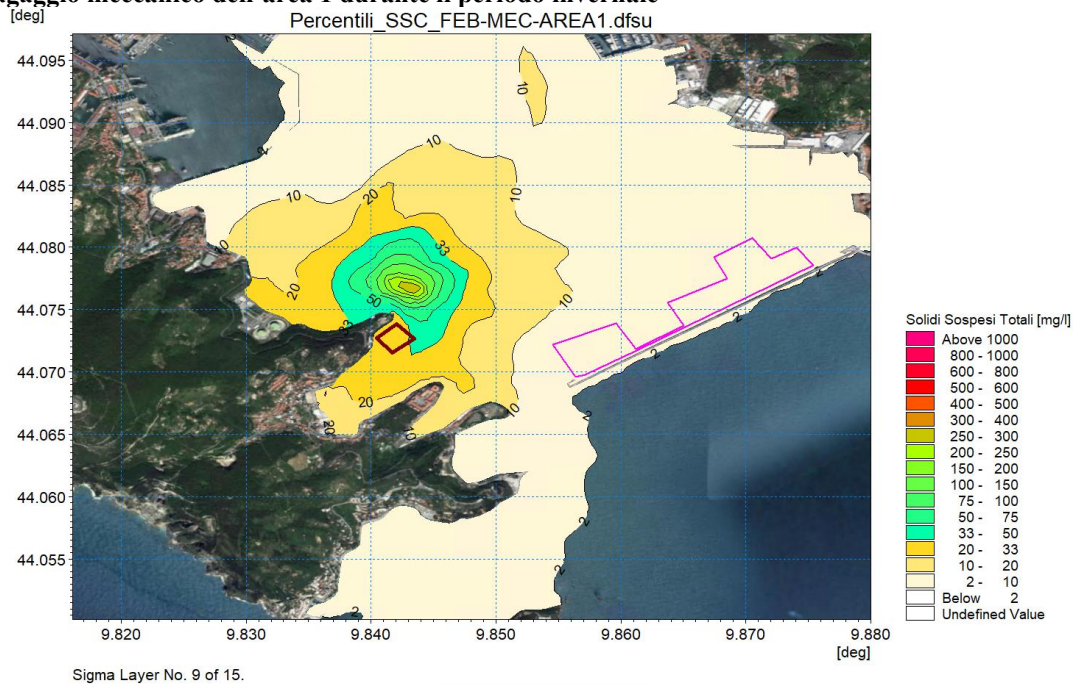


Figura 7-14 **Mappa relativa al 98° percentile delle concentrazioni a metà colonna di solidi sospesi totali, in riferimento al dragaggio meccanico dell'area 1 durante il periodo invernale**

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA		REL-AMB-E-09108
	DOCUMENTO Studio a supporto del dragaggio dei fondali in corrispondenza del pontile per le navi metaniere di Panigaglia (SP) Studio modellistico di dispersione dei sedimenti		Fg. 46 di 154

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-108

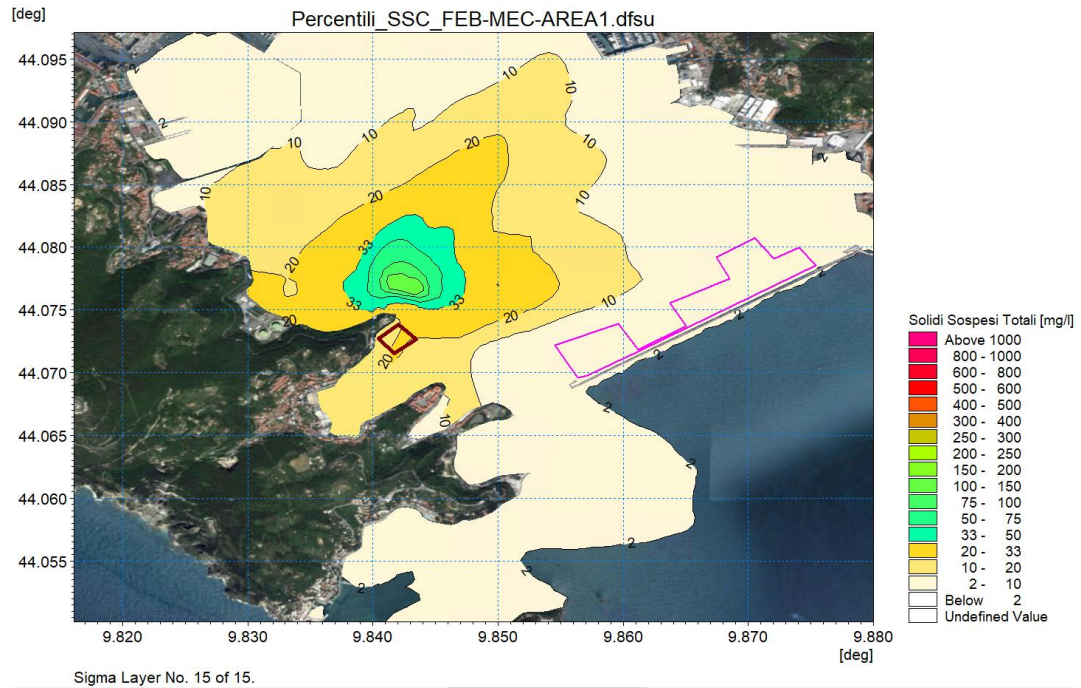


Figura 7-15 Mappa relativa al 98° percentile delle concentrazioni in superficie di solidi sospesi totali, in riferimento al dragaggio meccanico dell'area 1 durante il periodo invernale
 7.3.1.4. PERIODO INVERNALE – AREA 2

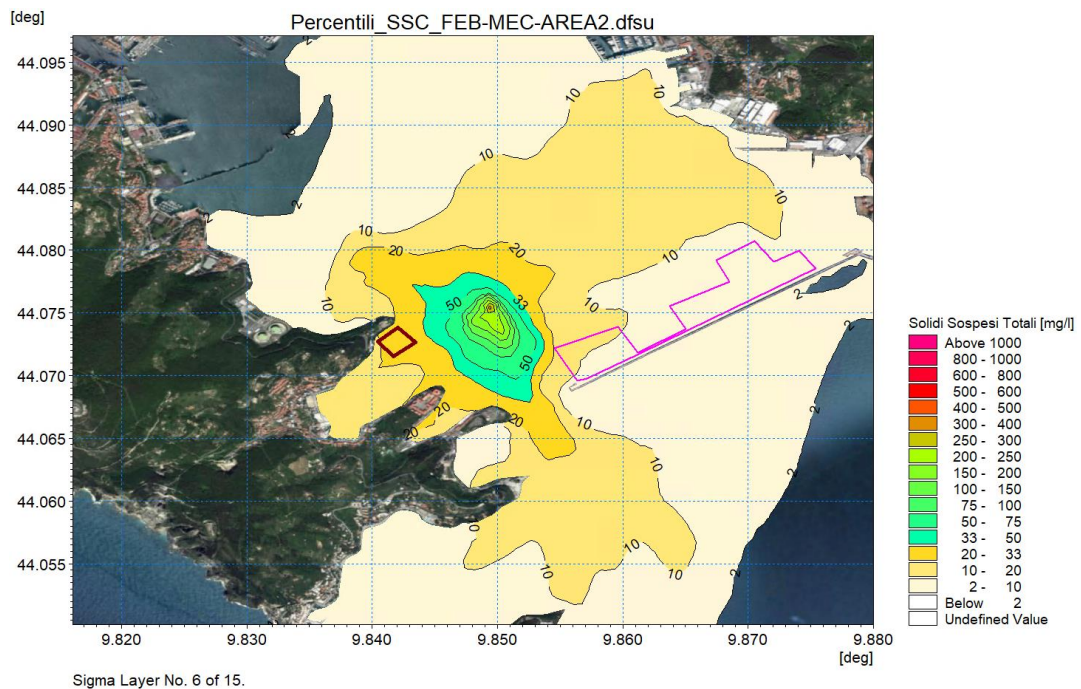


Figura 7-16 Mappa relativa al 98° percentile delle concentrazioni al fondo di solidi sospesi totali, in riferimento al dragaggio meccanico dell'area 2 durante il periodo invernale

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA		REL-AMB-E-09108
	DOCUMENTO Studio a supporto del dragaggio dei fondali in corrispondenza del pontile per le navi metaniere di Panigaglia (SP) Studio modellistico di dispersione dei sedimenti		Fg. 47 di 154

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-108

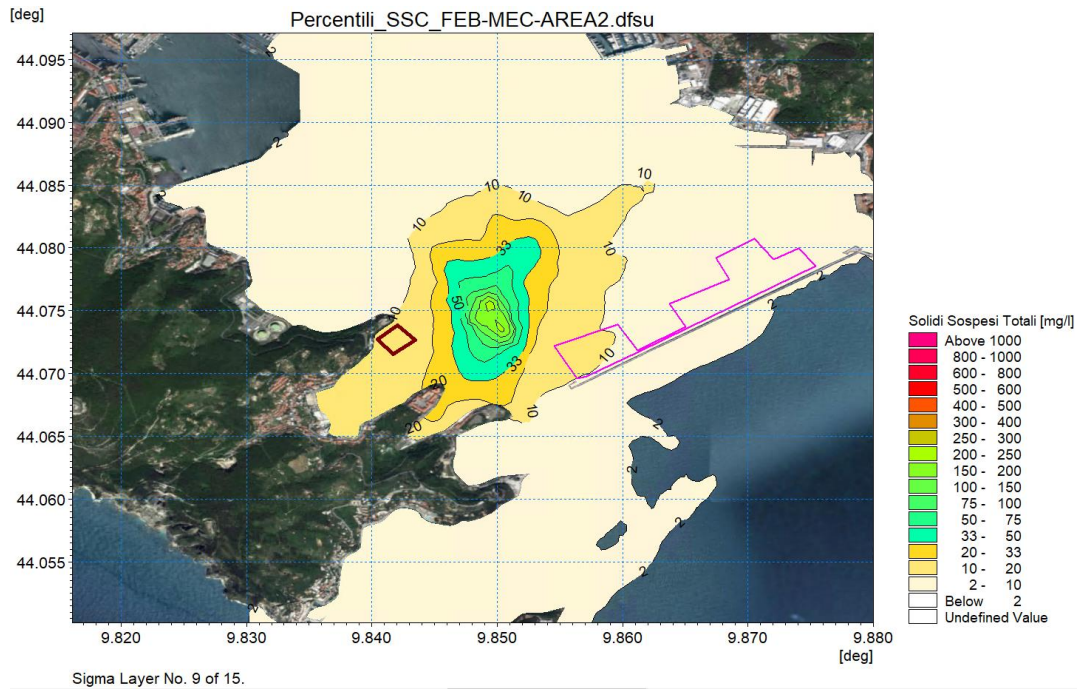


Figura 7-17 Mappa relativa al 98° percentile delle concentrazioni a metà colonna di solidi sospesi totali, in riferimento al dragaggio meccanico dell'area 2 durante il periodo invernale

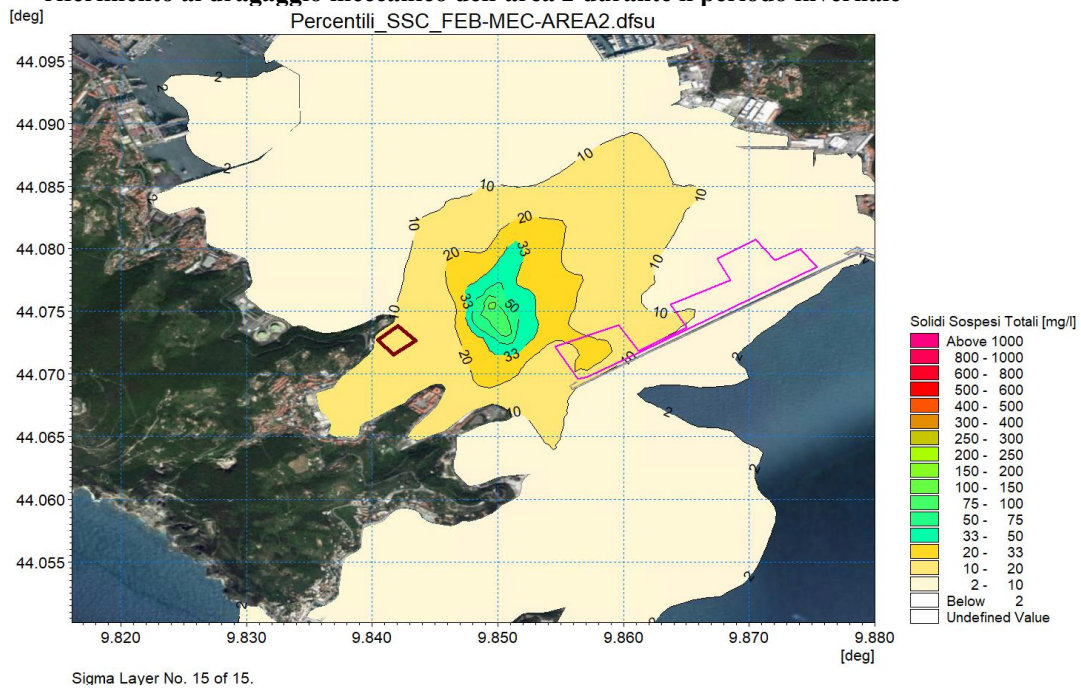


Figura 7-18 Mappa relativa al 98° percentile delle concentrazioni in superficie di solidi sospesi totali, in riferimento al dragaggio meccanico dell'area 2 durante il periodo invernale

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA		REL-AMB-E-09108
	DOCUMENTO Studio a supporto del dragaggio dei fondali in corrispondenza del pontile per le navi metaniere di Panigaglia (SP) Studio modellistico di dispersione dei sedimenti		Fg. 48 di 154

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-108

7.3.2. Risultati relativi al dragaggio di tipo idraulico
 7.3.2.1. PERIODO ESTIVO – AREA 1

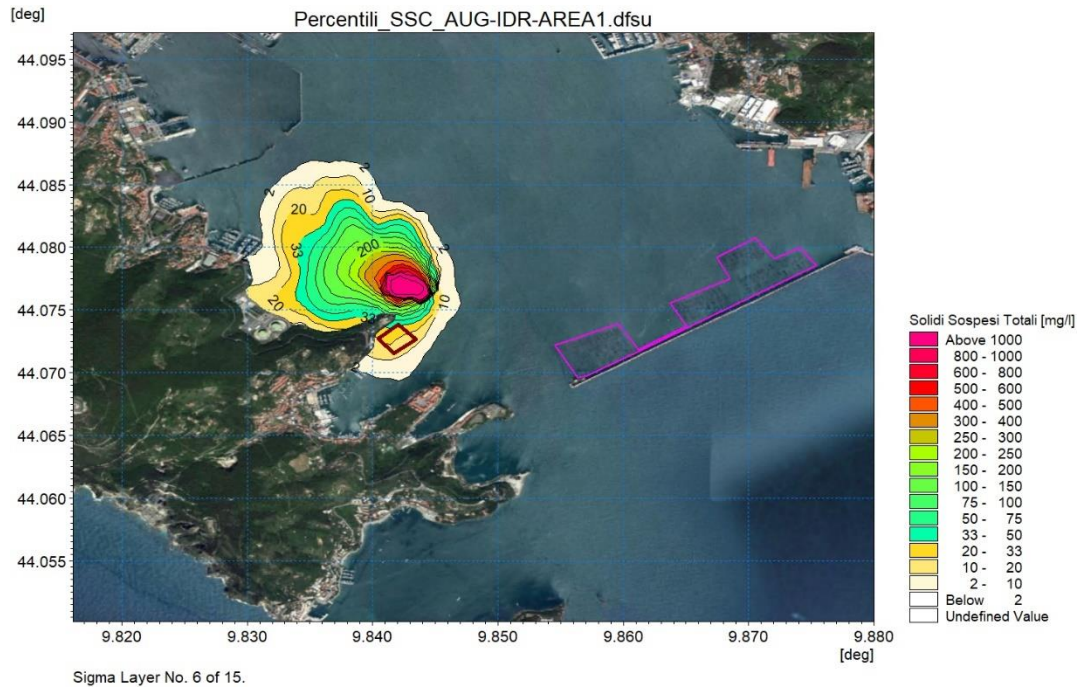


Figura 7-19 Mappa relativa al 98° percentile delle concentrazioni al fondo di solidi sospesi totali, in riferimento al dragaggio idraulico dell'area 1 durante il periodo estivo

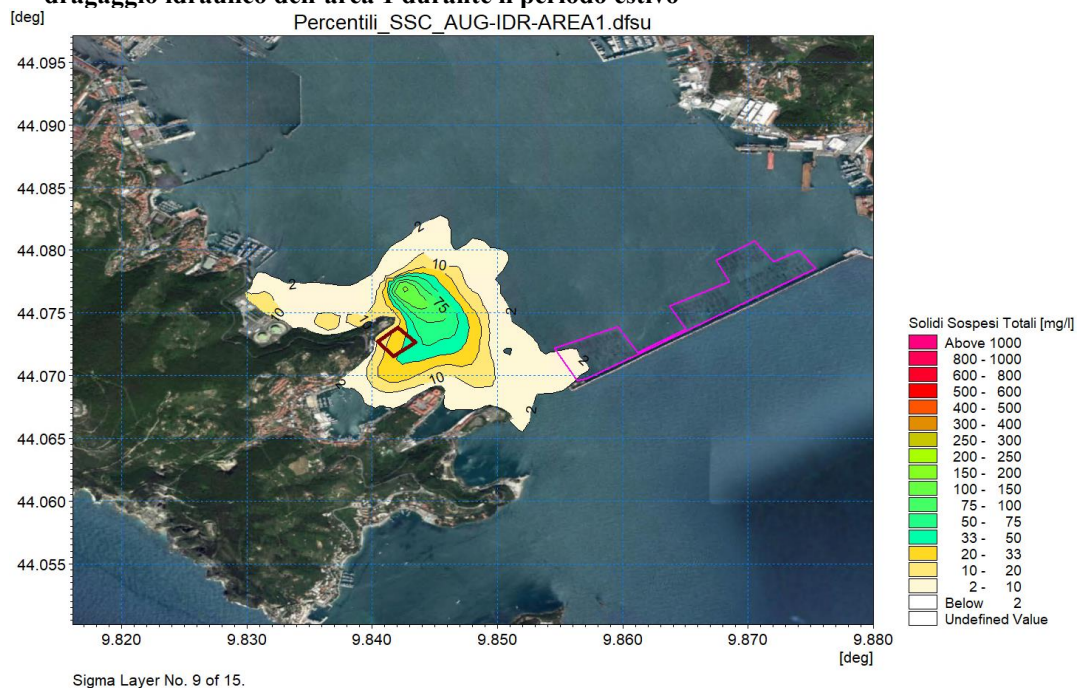


Figura 7-20 Mappa relativa al 98° percentile delle concentrazioni a metà colonna di solidi sospesi totali, in riferimento al dragaggio idraulico dell'area 1 durante il periodo estivo

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA		REL-AMB-E-09108
	DOCUMENTO Studio a supporto del dragaggio dei fondali in corrispondenza del pontile per le navi metaniere di Panigaglia (SP) Studio modellistico di dispersione dei sedimenti		Fg. 49 di 154

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-108

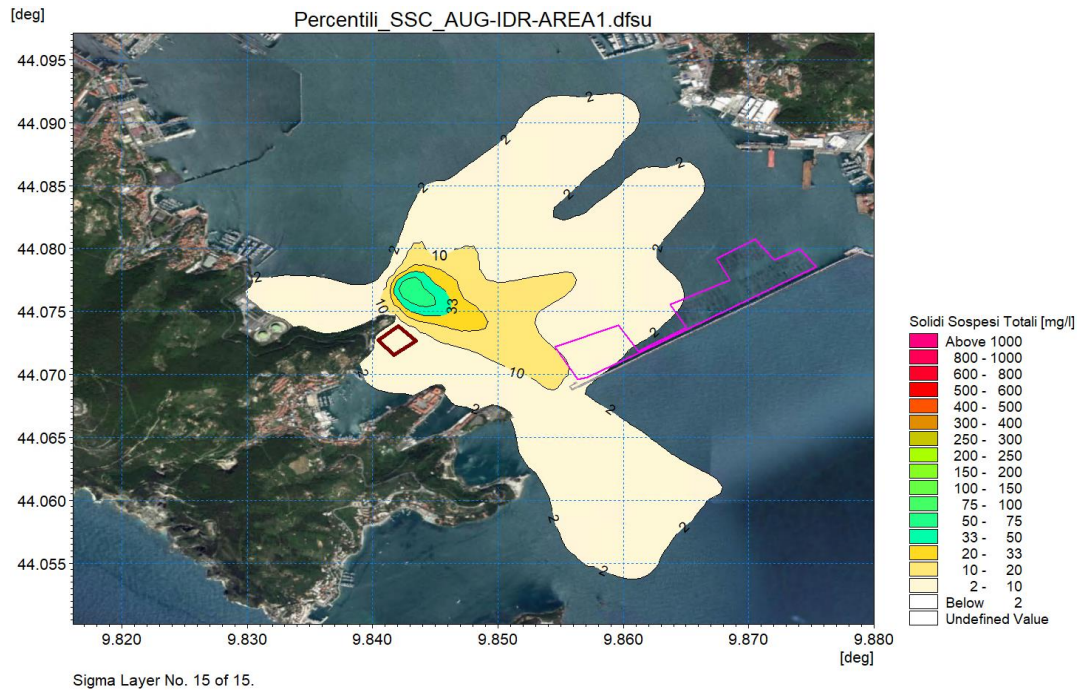


Figura 7-21 Mappa relativa al 98° percentile delle concentrazioni in superficie di solidi sospesi totali, in riferimento al dragaggio idraulico dell'area 1 durante il periodo estivo
 7.3.2.2. PERIODO ESTIVO – AREA 2

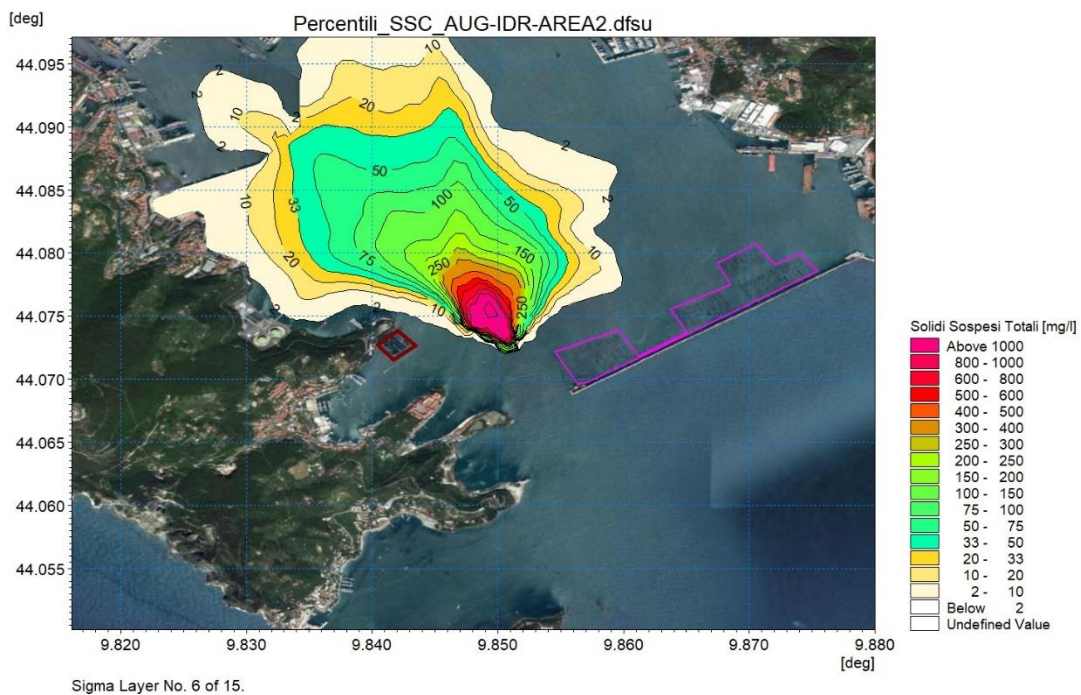


Figura 7-22 Mappa relativa al 98° percentile delle concentrazioni al fondo di solidi sospesi totali, in riferimento al dragaggio idraulico dell'area 2 durante il periodo estivo

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA		REL-AMB-E-09108
	DOCUMENTO Studio a supporto del dragaggio dei fondali in corrispondenza del pontile per le navi metaniere di Panigaglia (SP) Studio modellistico di dispersione dei sedimenti		Fg. 50 di 154

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-108

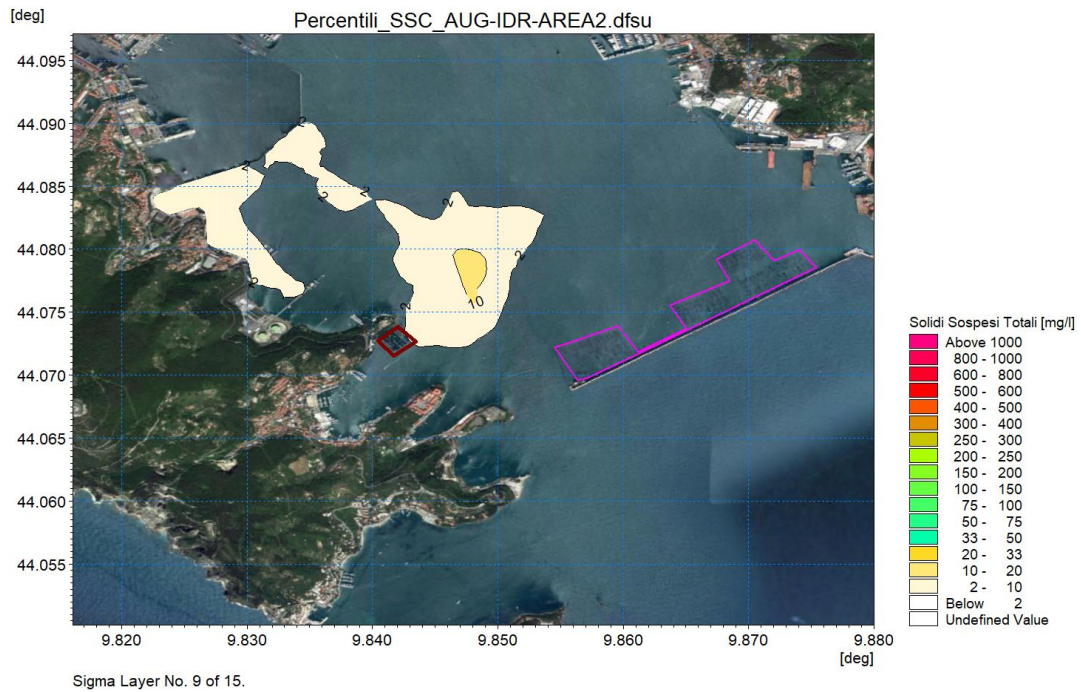


Figura 7-23 Mappa relativa al 98° percentile delle concentrazioni a metà colonna di solidi sospesi totali, in riferimento al dragaggio idraulico dell'area 2 durante il periodo estivo

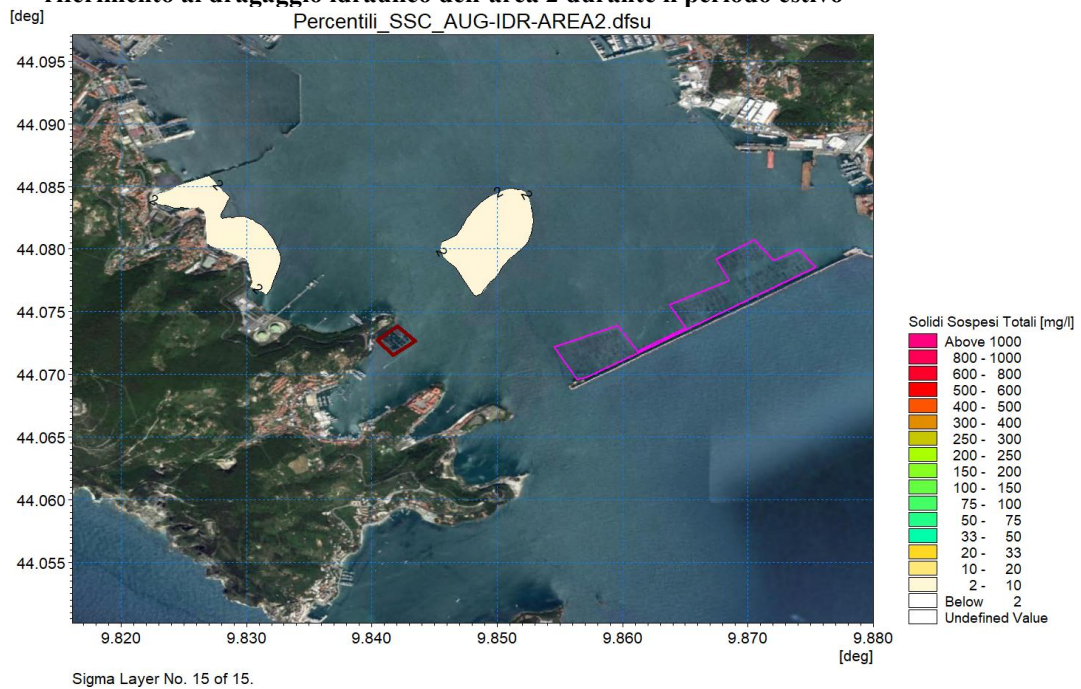


Figura 7-24 Mappa relativa al 98° percentile delle concentrazioni in superficie di solidi sospesi totali, in riferimento al dragaggio idraulico dell'area 2 durante il periodo estivo

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA		REL-AMB-E-09108
	DOCUMENTO Studio a supporto del dragaggio dei fondali in corrispondenza del pontile per le navi metaniere di Panigaglia (SP) Studio modellistico di dispersione dei sedimenti		Fg. 51 di 154

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-108

7.3.2.3. PERIODO INVERNALE – AREA 1

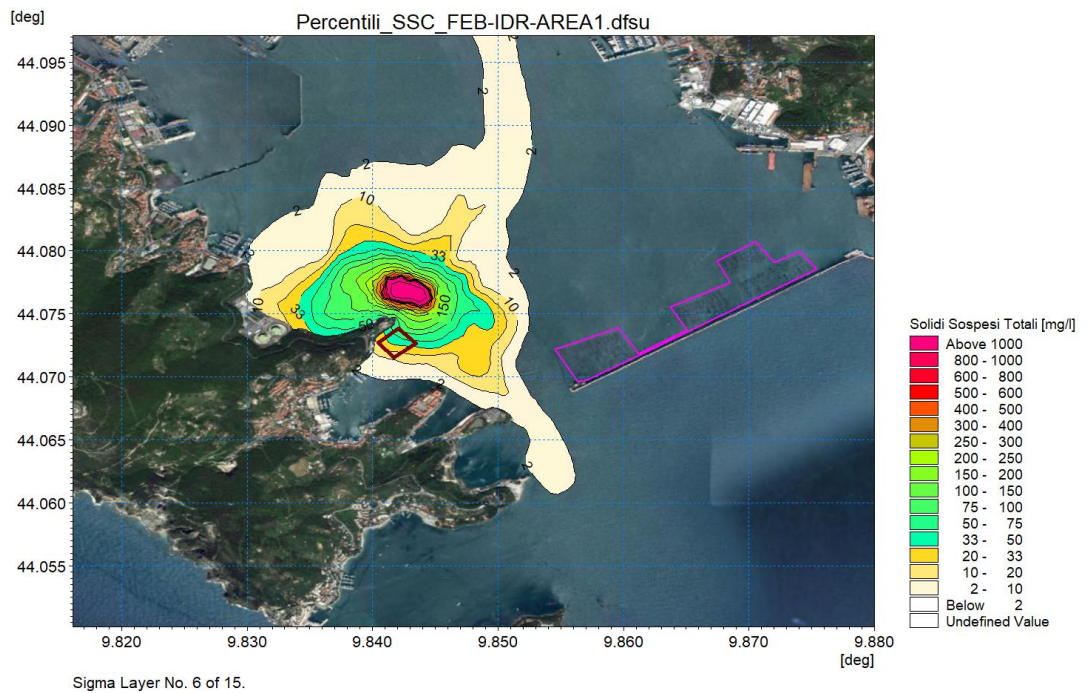


Figura 7-25 Mappa relativa al 98° percentile delle concentrazioni al fondo di solidi sospesi totali, in riferimento al dragaggio idraulico dell'area 1 durante il periodo invernale

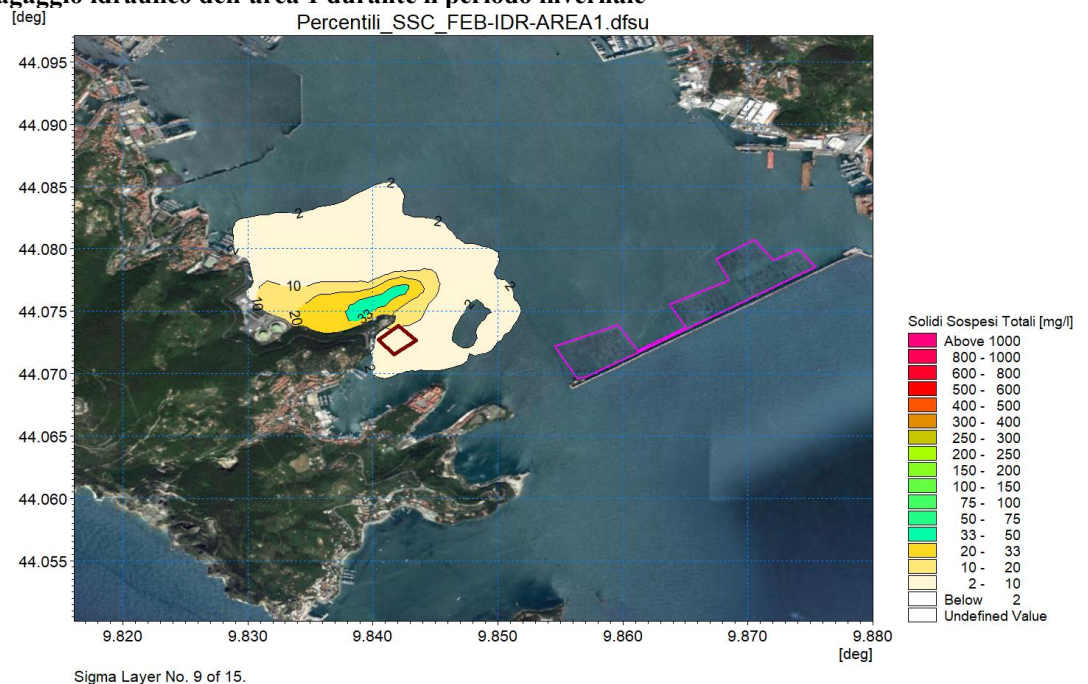


Figura 7-26 Mappa relativa al 98° percentile delle concentrazioni a metà colonna di solidi sospesi totali, in riferimento al dragaggio idraulico dell'area 1 durante il periodo invernale

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA		REL-AMB-E-09108
	DOCUMENTO Studio a supporto del dragaggio dei fondali in corrispondenza del pontile per le navi metaniere di Panigaglia (SP) Studio modellistico di dispersione dei sedimenti		Fg. 52 di 154

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-108

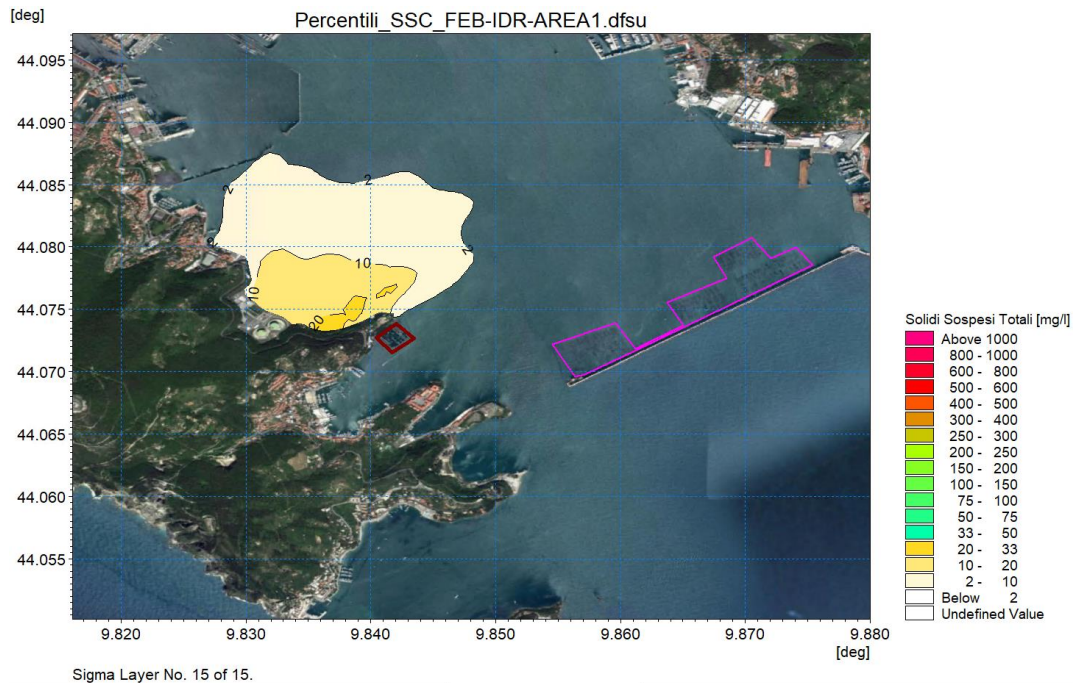


Figura 7-27 Mappa relativa al 98° percentile delle concentrazioni in superficie di solidi sospesi totali, in riferimento al dragaggio idraulico dell'area 1 durante il periodo invernale

7.3.2.4. PERIODO INVERNALE – AREA 2

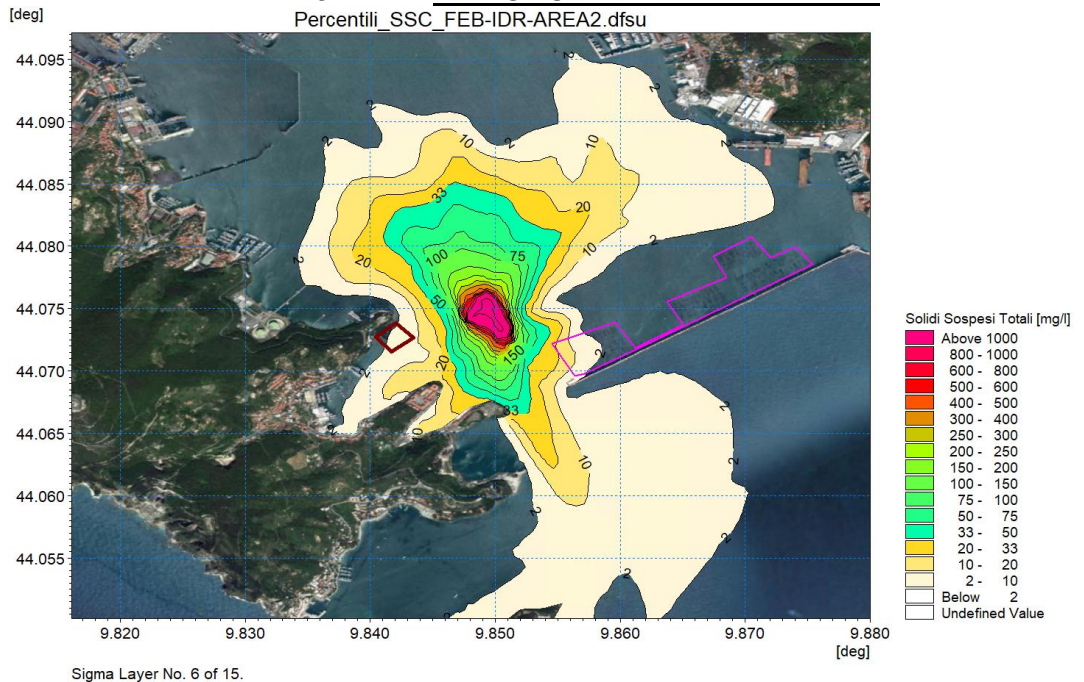


Figura 7-28 Mappa relativa al 98° percentile delle concentrazioni al fondo di solidi sospesi totali, in riferimento al dragaggio idraulico dell'area 2 durante il periodo invernale

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA	REL-AMB-E-09108	
	DOCUMENTO Studio a supporto del dragaggio dei fondali in corrispondenza del pontile per le navi metaniere di Panigaglia (SP) Studio modellistico di dispersione dei sedimenti	Fg. 53 di 154	Rev. 00

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-108

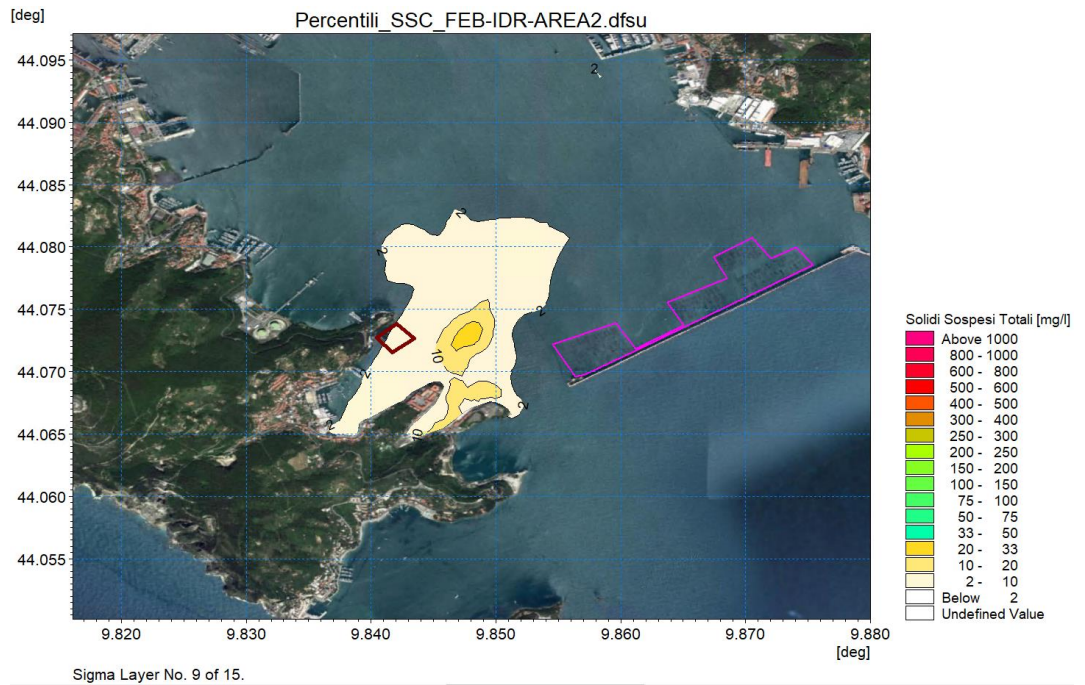


Figura 7-29 Mappa relativa al 98° percentile delle concentrazioni a metà colonna di solidi sospesi totali, in riferimento al dragaggio idraulico dell'area 2 durante il periodo invernale

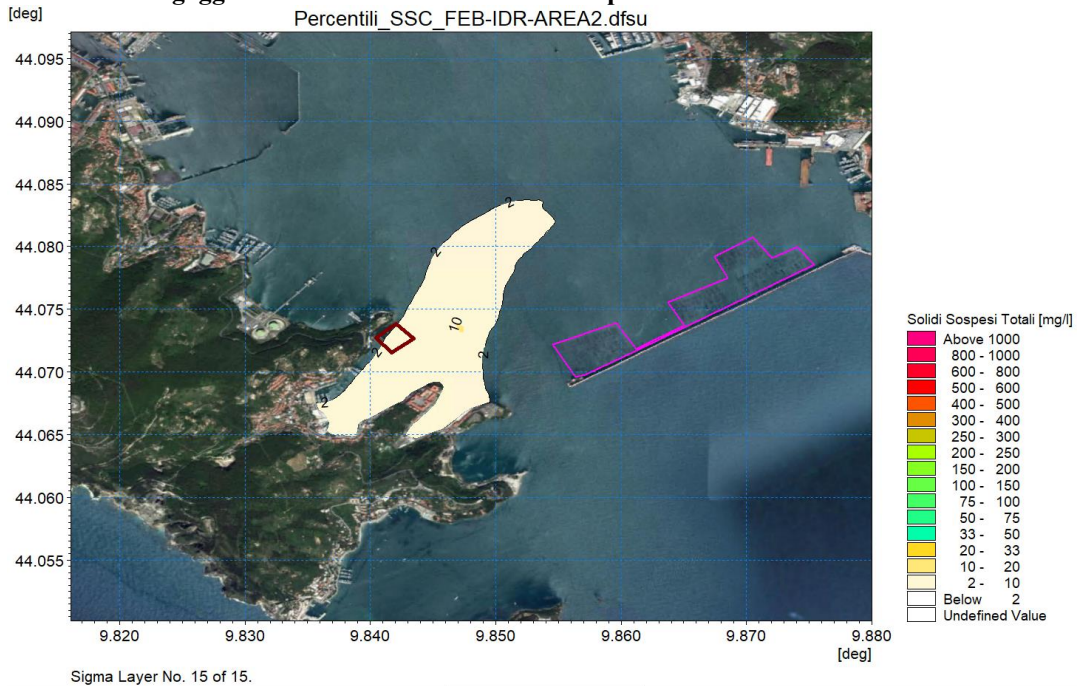


Figura 7-30 Mappa relativa al 98° percentile delle concentrazioni in superficie di solidi sospesi totali, in riferimento al dragaggio idraulico dell'area 2 durante il periodo invernale

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA	REL-AMB-E-09108	
	DOCUMENTO Studio a supporto del dragaggio dei fondali in corrispondenza del pontile per le navi metaniere di Panigaglia (SP) Studio modellistico di dispersione dei sedimenti	Fg. 54 di 154	Rev. 00

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-108

7.4. Riduzione del rateo di escavo

Le mappe dei risultati presentate alla sezione precedente hanno evidenziato che, in corrispondenza dell'allevamento ittico, durante il dragaggio dell'area 1 si riscontra il superamento del valore soglia di concentrazione di 33 mg/l, seppur per brevi periodi, come conseguenza della vicinanza dell'area da dragare rispetto al sito target e dell'effetto avvertivo delle correnti locali sulla forma del pennacchio di torbidità.

Si osserva che i modelli, come evidenziato anche dalle linee guida ISPRA sul tema [5], non tengono conto dell'impiego di particolari misure di mitigazione, quali le panne anti-torbidità o cortine di bolle, volte a contenere i sedimenti rilasciati in colonna d'acqua durante le lavorazioni, che verranno invece utilizzate durante le operazioni di dragaggio qui descritte.

Indipendentemente dall'utilizzo di tali dispositivi, risulta comunque opportuno, a completamento dell'analisi, ipotizzare ulteriori misure di mitigazione che consentano l'abbattimento della torbidità ed il rispetto del valore soglia di 33 mg/l nell'area target dedicata all'allevamento ittico. Una misura di mitigazione che potrebbe essere adottata è la riduzione del rateo di escavo che consentirebbe, anche in determinate condizioni idrodinamiche particolarmente sfavorevoli, di ridurre la concentrazione di sedimenti sospesi nelle zone target.

Al fine di supportare questa ipotesi sono state effettuate ulteriori simulazioni ipotizzando di ridurre di 1/3 il rateo di dragaggio. Queste simulazioni sono state condotte solo in riferimento al metodo di dragaggio più critico per l'area dell'allevamento di pesci, ossia quello di tipo meccanico. Si ipotizza pertanto un rateo di escavo della benna ambientale pari a 6200 m³/giorno (anziché 9300 m³/giorno) durante il dragaggio delle due aree di studio.

Analogamente a quanto esposto nella sezione precedente, sono state effettuate 8 simulazioni di MT per ciascun periodo idrodinamico (estivo e invernale), e i risultati sono stati processati per ottenere le mappe relative al 98° percentile di concentrazione (calcolata come media delle mappe ottenute per ogni simulazione) di solidi sospesi totali, al fondo, a metà colonna ed in superficie. Tali mappe di concentrazione sono presentate di seguito.

Inoltre, anche in questo caso sono state estratte le serie temporali di concentrazione dei sedimenti, per tutte le simulazioni, nei tre punti di interesse (si veda Figura 7-4) e sui tre livelli (fondo, metà colonna e superficie). I grafici relativi a queste serie temporali sono riportati nell'allegato A.

Questo approccio ha dimostrato che complessivamente, durante le operazioni di dragaggio, le concentrazioni registrate in corrispondenza dell'allevamento ittico si riducono e rimangono di fatto al di sotto della soglia di 33 mg/l. Pertanto, durante il dragaggio delle aree più prossime all'allevamento ittico [PP4] è consigliabile ridurre la velocità delle operazioni, ossia il rateo di escavo.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA		REL-AMB-E-09108
	DOCUMENTO Studio a supporto del dragaggio dei fondali in corrispondenza del pontile per le navi metaniere di Panigaglia (SP) Studio modellistico di dispersione dei sedimenti		Fg. 55 di 154

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-108

7.4.1.1. PERIODO ESTIVO – AREA 1

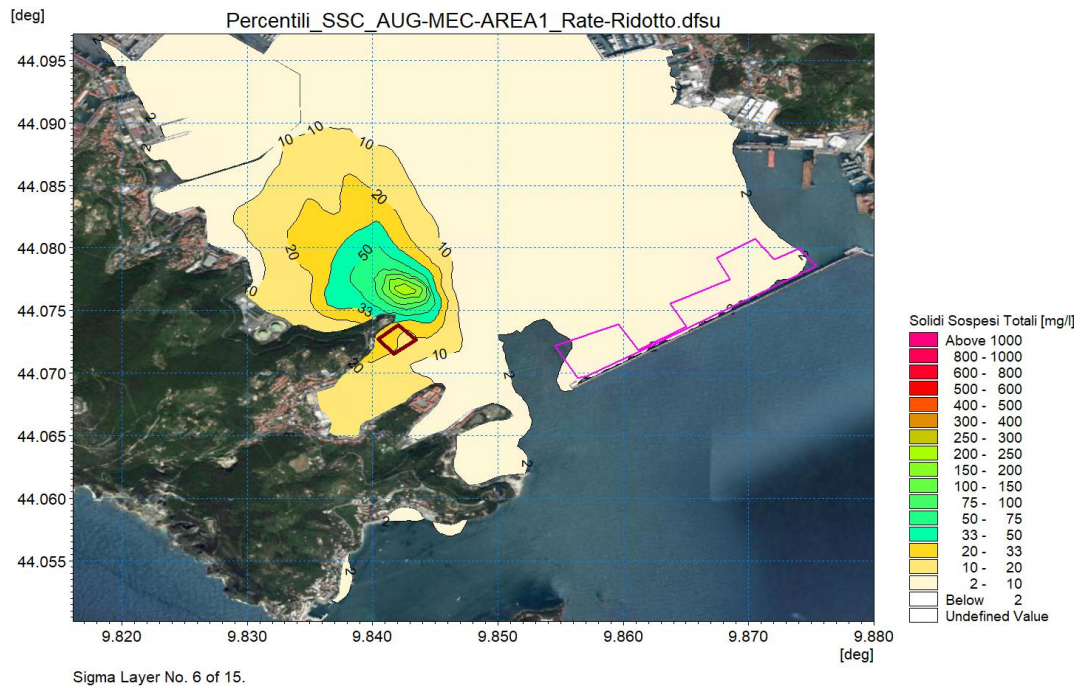


Figura 7-31 **Mappa relativa al 98° percentile delle concentrazioni al fondo di solidi sospesi totali, in riferimento al dragaggio meccanico dell'area 1 durante il periodo estivo (rateo di escavo ridotto di 1/3)**

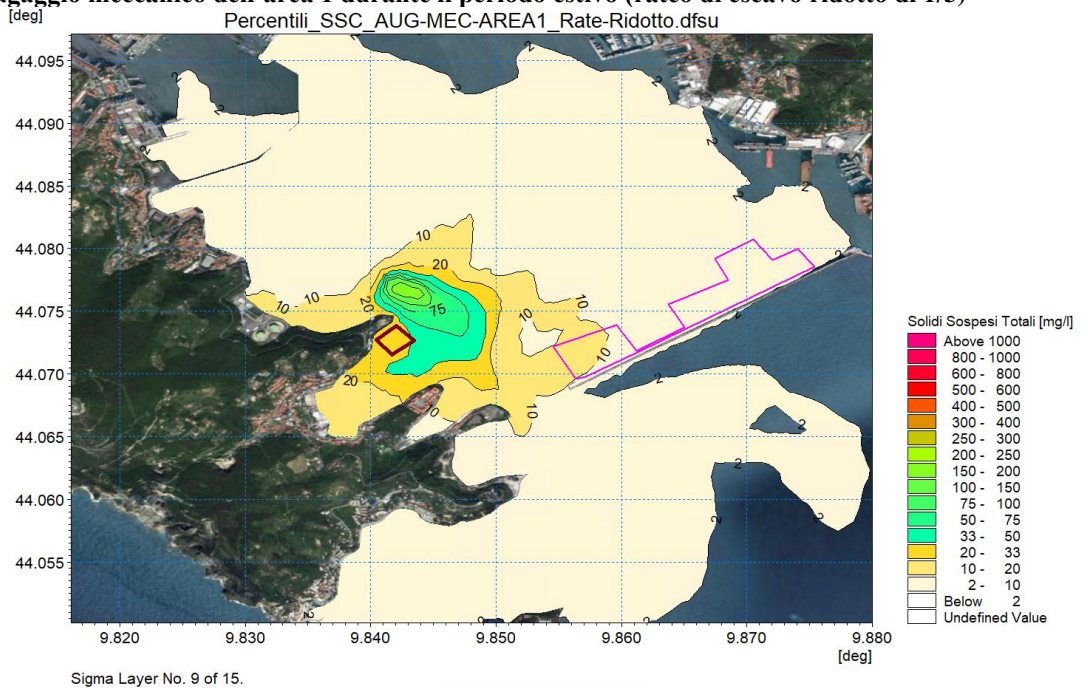


Figura 7-32 **Mappa relativa al 98° percentile delle concentrazioni a metà colonna di solidi sospesi totali, in riferimento al dragaggio meccanico dell'area 1 durante il periodo estivo (rateo di escavo ridotto di 1/3)**

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA	REL-AMB-E-09108	
	DOCUMENTO Studio a supporto del dragaggio dei fondali in corrispondenza del pontile per le navi metaniere di Panigaglia (SP) Studio modellistico di dispersione dei sedimenti	Fg. 56 di 154	Rev. 00

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-108

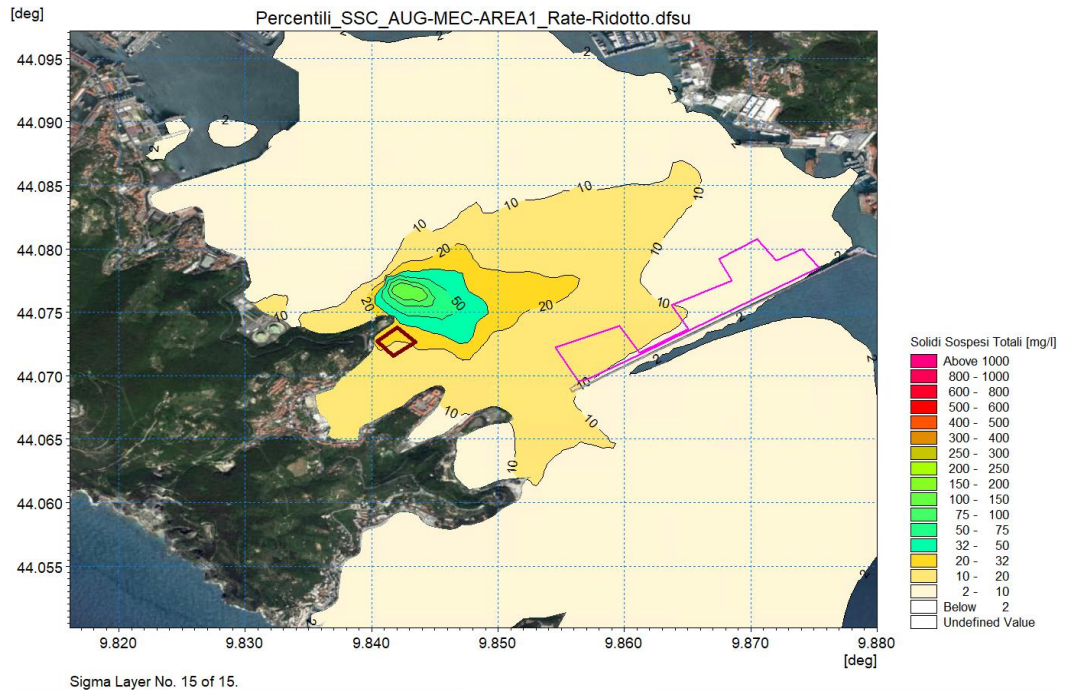


Figura 7-33 Mappa relativa al 98° percentile delle concentrazioni in superficie di solidi sospesi totali, in riferimento al dragaggio meccanico dell'area 1 durante il periodo estivo (rateo di escavo ridotto di 1/3)

7.4.1.2. PERIODO ESTIVO – AREA 2

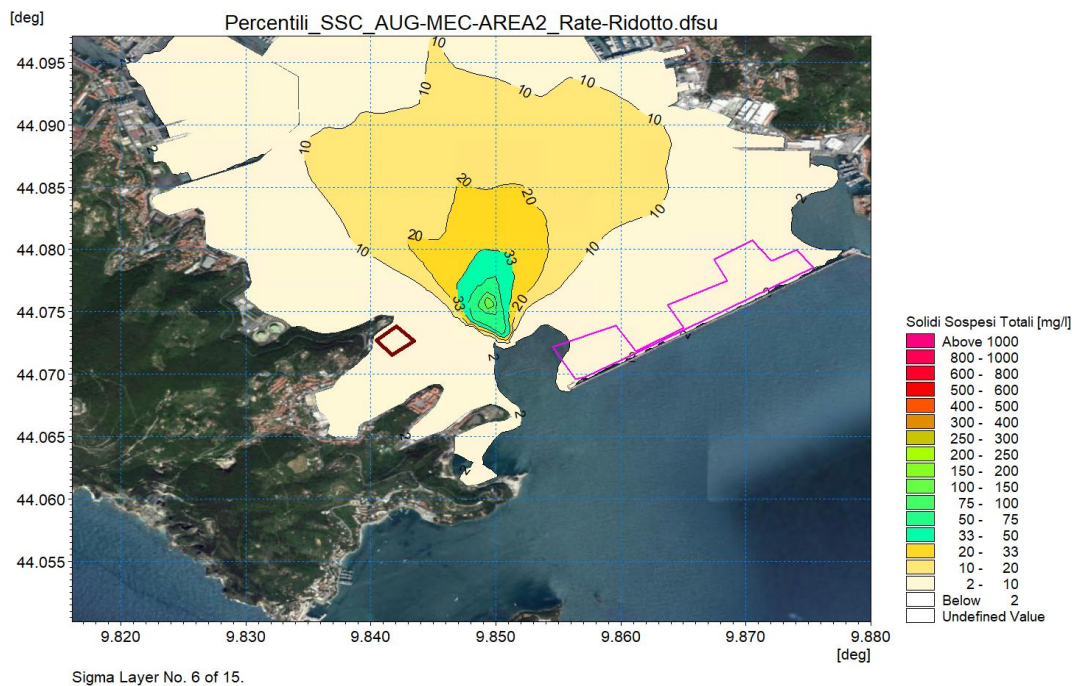


Figura 7-34 Mappa relativa al 98° percentile delle concentrazioni al fondo di solidi sospesi totali, in riferimento al dragaggio meccanico dell'area 2 durante il periodo estivo (rateo di escavo ridotto di 1/3)

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA	REL-AMB-E-09108	
	DOCUMENTO Studio a supporto del dragaggio dei fondali in corrispondenza del pontile per le navi metaniere di Panigaglia (SP) Studio modellistico di dispersione dei sedimenti	Fg. 57 di 154	Rev. 00

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-108

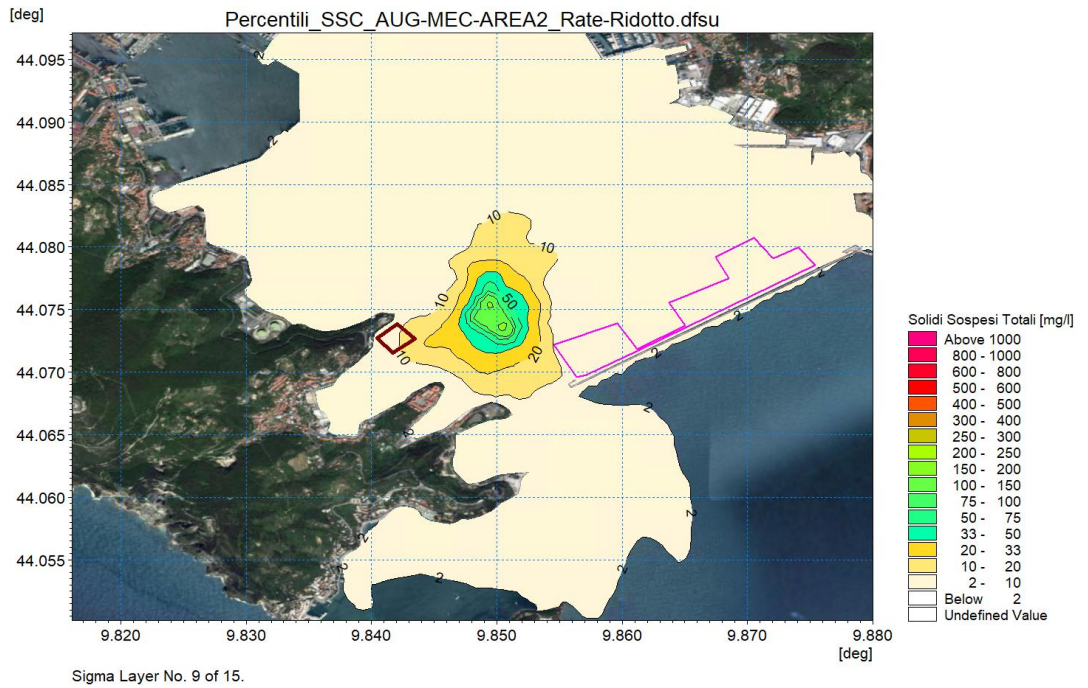


Figura 7-35 Mappa relativa al 98° percentile delle concentrazioni a metà colonna di solidi sospesi totali, in riferimento al dragaggio meccanico dell'area 2 durante il periodo estivo (rateo di escavo ridotto di 1/3)

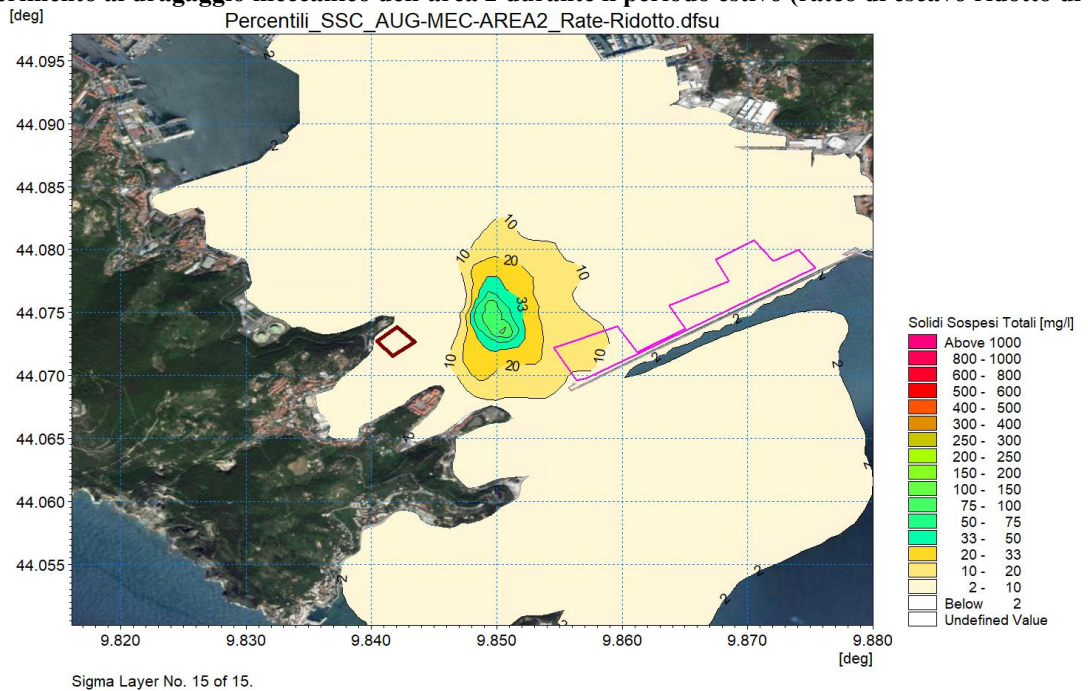


Figura 7-36 Mappa relativa al 98° percentile delle concentrazioni in superficie di solidi sospesi totali, in riferimento al dragaggio meccanico dell'area 2 durante il periodo estivo (rateo di escavo ridotto di 1/3)

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA		REL-AMB-E-09108
	DOCUMENTO Studio a supporto del dragaggio dei fondali in corrispondenza del pontile per le navi metaniere di Panigaglia (SP) Studio modellistico di dispersione dei sedimenti		Fg. 58 di 154

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-108

7.4.1.3. PERIODO INVERNALE – AREA 1

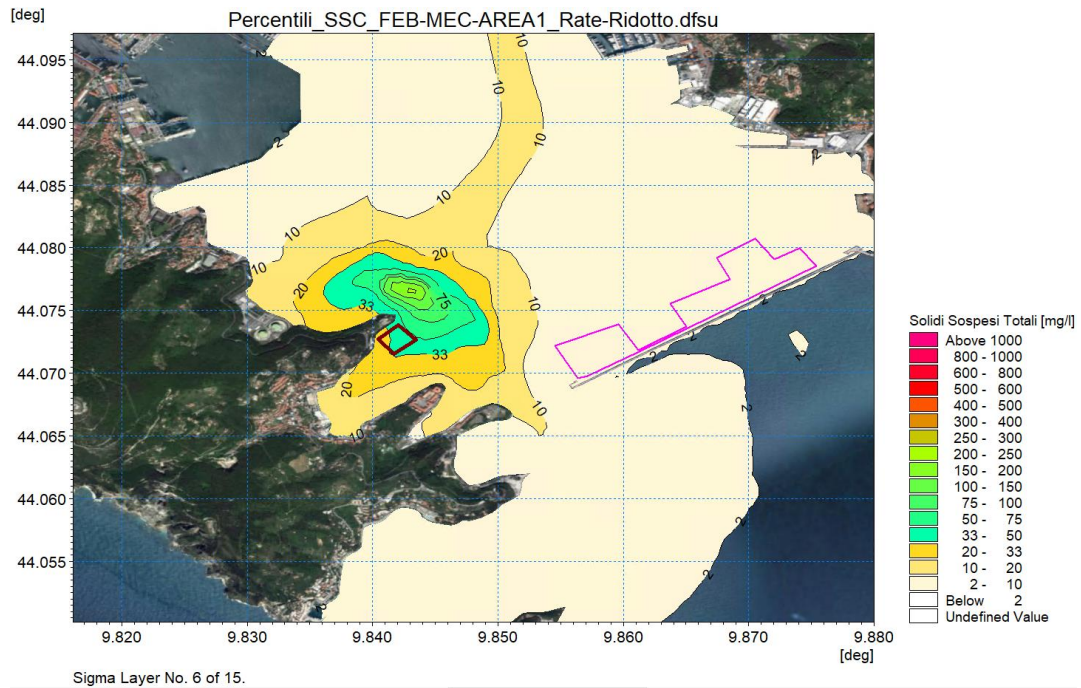


Figura 7-37 Mappa relativa al 98° percentile delle concentrazioni al fondo di solidi sospesi totali, in riferimento al dragaggio meccanico dell'area 1 durante il periodo invernale (rateo di escavo ridotto di 1/3)

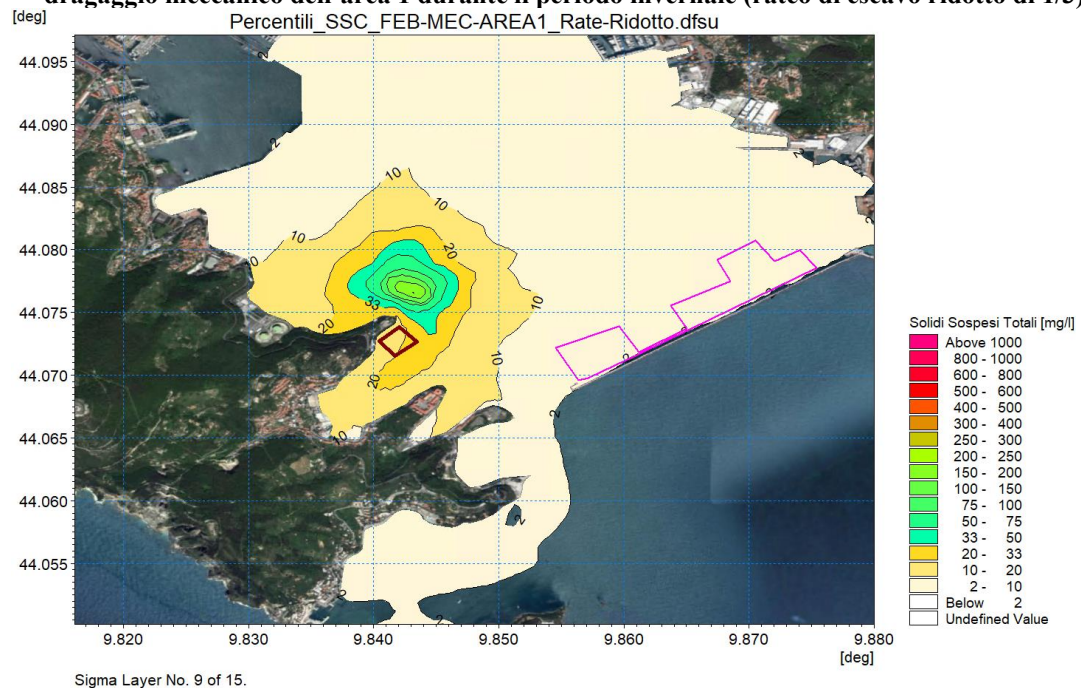


Figura 7-38 Mappa relativa al 98° percentile delle concentrazioni a metà colonna di solidi sospesi totali, in riferimento al dragaggio meccanico dell'area 1 durante il periodo invernale (rateo di escavo ridotto di 1/3)

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA		REL-AMB-E-09108
	DOCUMENTO Studio a supporto del dragaggio dei fondali in corrispondenza del pontile per le navi metaniere di Panigaglia (SP) Studio modellistico di dispersione dei sedimenti		Fg. 59 di 154

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-108

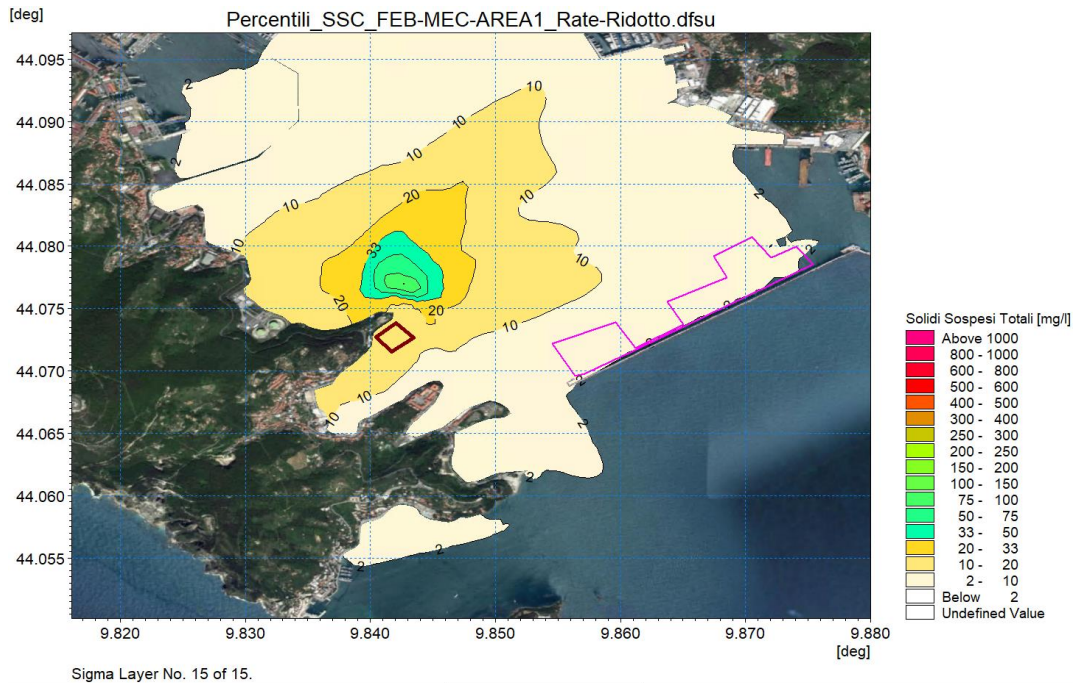


Figura 7-39 Mappa relativa al 98° percentile delle concentrazioni in superficie di solidi sospesi totali, in riferimento al dragaggio meccanico dell'area 1 durante il periodo invernale (rateo di escavo ridotto di 1/3)

7.4.1.4. PERIODO INVERNALE – AREA 2

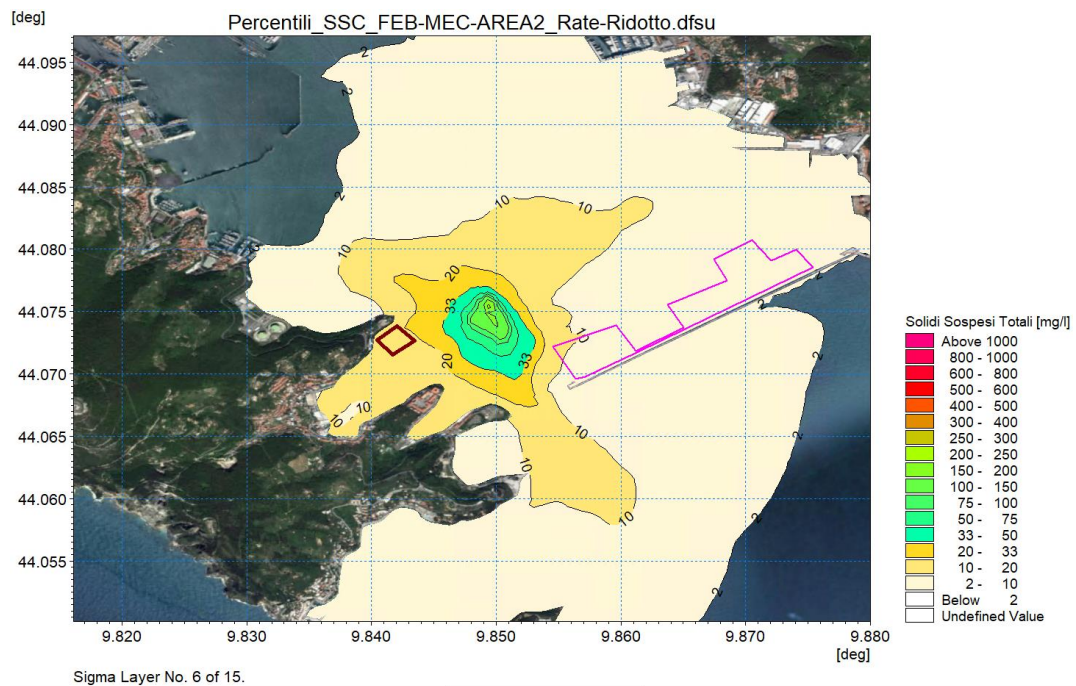


Figura 7-40 Mappa relativa al 98° percentile delle concentrazioni al fondo di solidi sospesi totali, in riferimento al dragaggio meccanico dell'area 2 durante il periodo invernale (rateo di escavo ridotto di 1/3)

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA		REL-AMB-E-09108
	DOCUMENTO Studio a supporto del dragaggio dei fondali in corrispondenza del pontile per le navi metaniere di Panigaglia (SP) Studio modellistico di dispersione dei sedimenti		Fg. 60 di 154

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-108

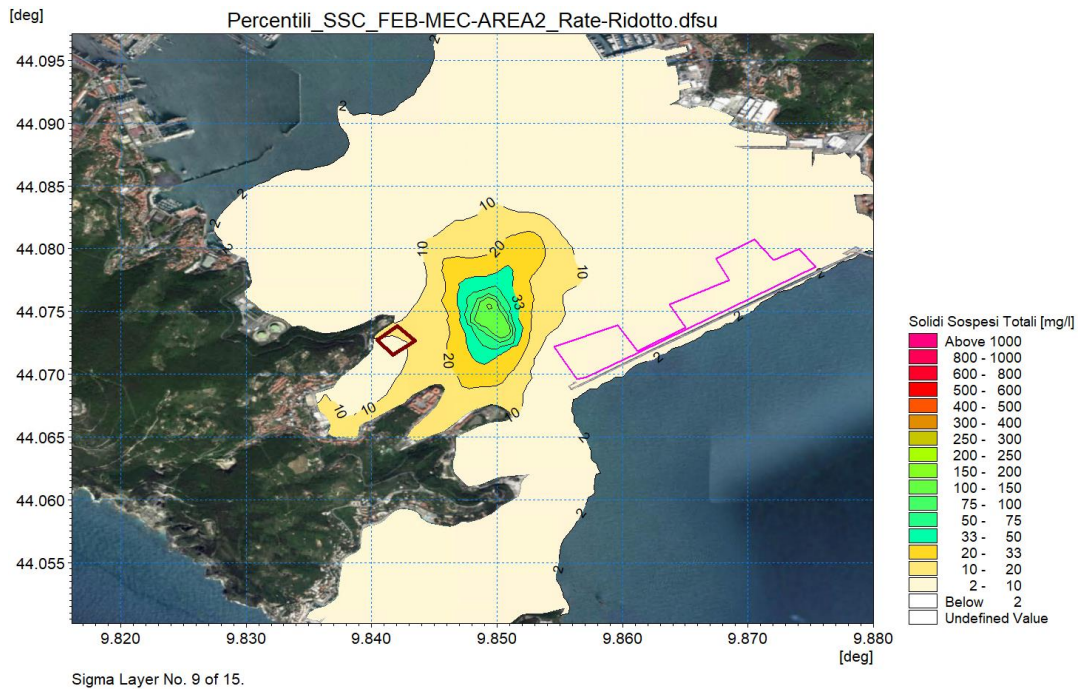


Figura 7-41 Mappa relativa al 98° percentile delle concentrazioni a metà colonna di solidi sospesi totali, in riferimento al dragaggio meccanico dell'area 2 durante il periodo invernale (rateo di escavo ridotto di 1/3)

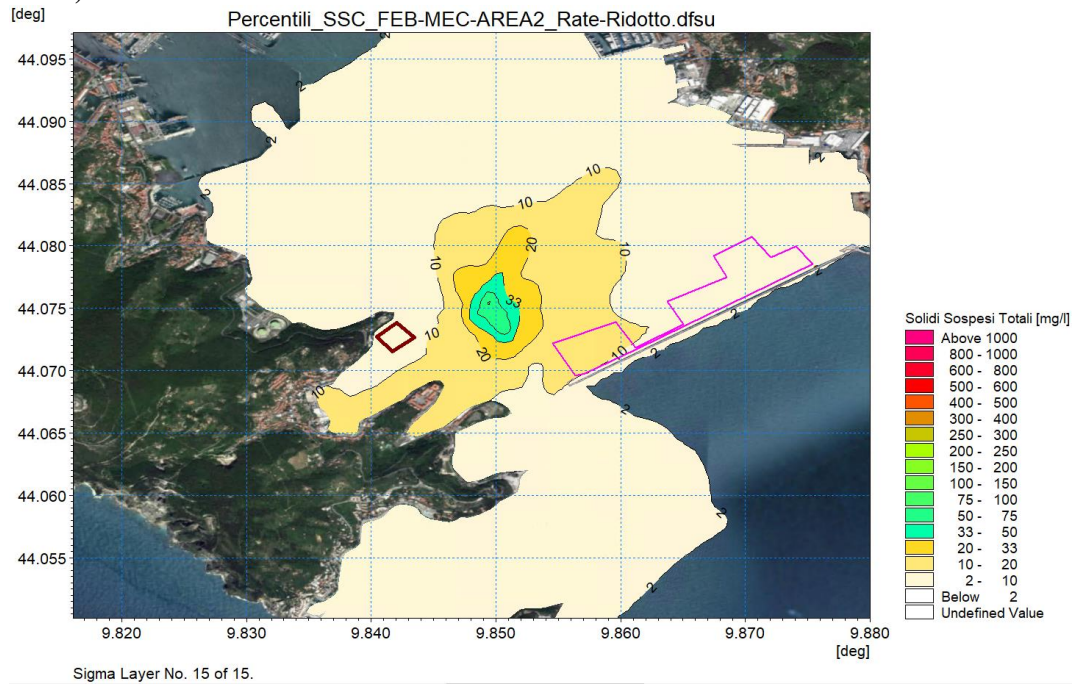


Figura 7-42 Mappa relativa al 98° percentile delle concentrazioni in superficie di solidi sospesi totali, in riferimento al dragaggio meccanico dell'area 2 durante il periodo invernale (rateo di escavo ridotto di 1/3)

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA	REL-AMB-E-09108	
	DOCUMENTO Studio a supporto del dragaggio dei fondali in corrispondenza del pontile per le navi metaniere di Panigaglia (SP) Studio modellistico di dispersione dei sedimenti	Fg. 61 di 154	Rev. 00

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-108

8. CONCLUSIONI

L'obiettivo del presente lavoro è studiare, mediante opportuna modellistica numerica, la dispersione dei sedimenti durante le operazioni di dragaggio del fondale in prossimità del pontile di attracco delle navi metaniere in località Panigaglia, all'interno della rada di La Spezia.

Nello specifico, l'intervento prevede la riprofilatura del fondale fino alla quota di -14 m, stimando il dragaggio di un volume pari a circa 1'900'000 m³. Il dragaggio verrà effettuato utilizzando una tra le seguenti tipologie di draga: benna ambientale (dragaggio di tipo meccanico) o sorbona (dragaggio di tipo idraulico).

Lo studio è stato condotto attraverso l'implementazione dei modelli tridimensionali MIKE 3 HD - *Hydrodynamics* e MIKE 3 MT - *Mud Transport*, che rappresentano lo stato dell'arte nel campo dell'idrodinamica e della dispersione dei sedimenti fini in ambiente marino.

L'analisi modellistica è stata preceduta da un'attività di raccolta e processamento di tutti i dati disponibili (batimetrici, sedimentologici, meteomarini, oceanografici, mareali e atmosferici), unitamente alle caratteristiche e alle modalità operative di dragaggio.

Successivamente, è stato applicato il codice di calcolo MIKE 3 HD per simulare il regime di circolazione che si verifica all'interno della rada di La Spezia in due scenari reali di medio periodo (2 settimane ciascuno), selezionati come rappresentativi di condizioni medie stagionali (estiva ed invernale). La scelta dei periodi di riferimento è stata effettuata sulla base di una analisi dei dati di vento registrati dalla stazione di Spezia del Centro Funzionale Meteo-Idrologico di Protezione Civile (CFMI-PC) della Regione Liguria [15], in quanto rappresenta il principale responsabile delle dinamiche interne alla rada. Il modello è stato implementato come *downscaling* del modello a scala regionale Mediterranean Sea Physics Reanalysis [9].

Al modello idrodinamico di dettaglio è stato dinamicamente accoppiato il modello numerico tridimensionale di trasporto e dispersione di sedimenti fini, MIKE 3 MT, in riferimento al dragaggio di tipo sia meccanico che idraulico. Vista l'entità del volume da dragare ed i tempi di esecuzione previsti, il modello è stato implementato per una finestra temporale rappresentativa di una "unità operativa", per la cui definizione si è seguito l'approccio proposto da Feola et al, 2016 [4]. Il volume di riferimento per l'unità operativa è stato posto pari al volume dragato dalla benna ambientale in una settimana (6 giorni di lavoro non-stop ed uno di pausa), ossia complessivamente pari a 55'800 m³; a questo stesso volume si è fatto riferimento per la definizione dell'unità operativa relativa alla sorbona, in modo da ottenere un confronto quantitativo tra le due ipotesi strumentali. In quest'ultimo caso, l'unità operativa viene completata in 18 ore di lavoro, di cui 6 effettive di dragaggio (si parla di cicli di tre ore, di cui due spesi per il trasporto del materiale dalla zona di dragaggio al sito di deposito).

L'unità operativa viene replicata in due zone all'interno dell'area complessiva da dragare, selezionate sulla base delle potenziali criticità rispetto a target sensibili: in questo studio sono state scelte due aree critiche in quanto le più prossime all'allevamento ittico e all'allevamento di mitili presenti all'interno della rada.

La disponibilità di 14 giorni di condizioni idrodinamiche locali ha permesso di condurre le simulazioni di dispersione e trasporto dei sedimenti secondo un approccio a "finestre mobili", come suggerito dalle linee guida ISPRA [5]: è stato infatti predisposto un elevato numero di simulazioni ipotizzando l'unità operativa in diversi momenti del periodo idrodinamico disponibile, al fine di considerare un'elevata variabilità idrodinamica infra e intra giornaliera.

I risultati delle simulazioni sono stati forniti in termini di distribuzione spaziale (media tra le mappe ottenute per ogni finestra mobile) della concentrazione relativa al 98° percentile di sedimento sospeso su tre livelli

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA	REL-AMB-E-09108	
	DOCUMENTO Studio a supporto del dragaggio dei fondali in corrispondenza del pontile per le navi metaniere di Panigaglia (SP) Studio modellistico di dispersione dei sedimenti	Fg. 62 di 154	Rev. 00

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-108

(al fondo, a profondità intermedia e in superficie); in aggiunta, sono riportate le serie temporali di concentrazione di solidi sospesi, per ogni simulazione effettuata, estratte in corrispondenza dei due allevamenti ed in un punto centrale della rada.

Per l'analisi di questi risultati si è fatto riferimento al valore di concentrazione di 33 mg/l, determinato il 26-27 febbraio 2021 dal Prof. Marco Capello (DISTAV) dell'Università degli Studi di Genova come condizione "indisturbata" all'interno della rada [18].

I risultati mostrano differenze tra le due tipologie di draga investigate in termini di estensione del pennacchio di torbida e di valori di concentrazione raggiunti. L'uso della sorbona comporta concentrazioni molto elevate (oltre i 1000 mg/l) nell'intorno della zona dragata in prossimità del fondo, ma risalendo la colonna d'acqua le concentrazioni diminuiscono drasticamente fino a raggiungere qualche decina di mg/l in superficie. L'uso della benna ambientale comporta al fondo concentrazioni inferiori a quelle ottenute con la sorbona (fino a 320 mg/l), ma superiori in superficie (fino a 170 mg/l), ovvero con poche differenze lungo la colonna d'acqua. Per quanto riguarda il pennacchio in riferimento a concentrazioni superiori a 33 mg/l, esso si estende, al fondo, fino a circa 500 m dalla zona di scavo, per entrambe le tipologie di draghe; tale estensione si mantiene pressoché uniforme lungo la colonna d'acqua nel caso di dragaggio meccanico, mentre è molto più ridotta in superficie nel caso di dragaggio idraulico. Questo risultato è causato dal diverso metodo di dragaggio tra le due tecnologie, che influisce sulla diversa modalità di rilascio del sedimento (uniformemente distribuito lungo la colonna per la benna e confinato allo strato di fondo per la sorbona) e di conseguenza sul diverso impatto lungo la colonna d'acqua.

Si osserva che i risultati, in termini di estensione e concentrazioni del pennacchio, delle simulazioni effettuate durante il periodo invernale ed estivo sono molto simili tra loro in quanto la stratificazione termica e la formazione del termocline (tipici del periodo estivo) non sono significativi all'interno della rada.

In riferimento agli allevamenti di mitili, per entrambe le tipologie di draga (benna ambientale e sorbona), per entrambe le aree di escavo e per entrambi gli scenari idrodinamici (estate e inverno) le concentrazioni si mantengono sempre inferiori al valore soglia di 33 mg/l.

In riferimento all'allevamento di pesci, si riscontrano concentrazioni superiori ai 33 mg/l durante il dragaggio dell'area più vicina (area 1), principalmente dovute al verificarsi di condizioni idrodinamiche sfavorevoli di correnti dirette dall'area dragata verso l'allevamento [PP5].

Un intervento di mitigazione ipotizzato in questo studio, volto a diminuire le concentrazioni in corrispondenza dell'allevamento ittico, è la riduzione del rateo di escavo nelle zone da dragare più prossime all'allevamento ittico. Infatti, applicando la medesima metodologia sopra descritta per il solo dragaggio meccanico e facendo riferimento ad un rateo ridotto di 1/3, si ottengono concentrazioni nelle aree target inferiori al valore soglia di 33 mg/l.

Si precisa comunque che, così come previsto dalle linee guida ISPRA [5], i risultati presentati non tengono conto dell'impiego di particolari misure di mitigazione, quali le panne anti-torbidità o cortine di bolle, volte a contenere i sedimenti rilasciati in colonna d'acqua durante le lavorazioni, che verranno invece utilizzati durante le operazioni di dragaggio.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA	REL-AMB-E-09108	
	DOCUMENTO Studio a supporto del dragaggio dei fondali in corrispondenza del pontile per le navi metaniere di Panigaglia (SP) Studio modellistico di dispersione dei sedimenti	Fg. 63 di 154	Rev. 00

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-108

9. BIBLIOGRAFIA

- [1] DHI, «MIKE 3 Flow Model HD FM, Hydrodynamics Flexible Mesh, Scientific Documentation,» MIKE by DHI, Hørsholm, 2023.
- [2] DHI, «MIKE 3 MT FM, Mud Transport Flexible Mesh, Scientific Documentation,» MIKE by DHI, Hørsholm, 2023.
- [3] «<http://marine.copernicus.eu/>,» CMEMS- Copernicus Marine Environment Monitoring Service. [Online].
- [4] A. Feola, I. Lisi, A. Salmeri, F. Venti, A. Pedroncini, M. Gabellini e E. Romano, «Platform of integrated tools to support environmental studies and management of dredging activities,» *J. Environ.Manag.*, vol. 166, pp. 357-373, 2016.
- [5] I. Lisi, A. Feola, A. Bruschi, M. Di Risio, A. Pedroncini, D. Pasquali e E. Romano, «La modellistica matematica nella valutazione degli aspetti fisici legati alla movimentazione dei sedimenti in aree marino-costiere,» *Manuali e Linee Guida ISPRA*, vol. 169, p. 144, 2017.
- [6] DHI, «MIKE C-MAP, Extraction of World Wide Bathymetry Data and Tidal Information, Scietific Documentation,» MIKE by DHI, Hørsholm, 2023.
- [7] Jeppesen Marine, «CM-93, Global Electronic Chart Database Professional+,» Jeppesen Marine, Norway, 2016.
- [8] Studio di Geologia Tecnica e Ambientale Dott. Paolo Petri, «Relazione geologico tecnica NTC2018 in Loc. Panigaglia,» La Spezia, 2021.
- [9] R. Escudier, E. Clementi, M. Omar, A. Cipollone, J. Pistoia, A. Aydogdu, M. Drudi, A. Grandi, V. Lyubartsev, R. Lecci, S. Cretí, S. Masina, G. Coppini e N. Pinardi, «Mediterranean Sea Physical Reanalysis (CMEMS MED-Currents) (Version 1),» Copernicus Monitoring Environment Marine Service (CMEMS), 2020.
- [10] G. Madec, «NEMO (Nucleus for European Modelling of the Ocean) ocean engine,» *Note du Pôle de modélisation, Institut Pierre-Simon Laplace (IPSL)*, vol. 27 ISSN, pp. 1288-1619, 2008.
- [11] M. Tonani, N. Pinardi, S. Dobricić, I. Pujol e C. Fratianni, «A high-resolution free-surface model of the Mediterranean Sea,» *Ocean Science*, pp. 4, 1–14, 2008.
- [12] J. Michalakes, S. Chen, J. Dudhia, L. Hart, J. Klemp, J. Middlecoff e W. Skamarock, «Development of a Next Generation Regional Weather Research and Forecast Model,» in *Proceedings of the 9th ECMWF Workshop on the Use of High Performance Computing in Meteorology.*, 2001.
- [13] CMEMS - Copernicus Marine Environment Monitoring Service, «Quality Identification Document (QUID) - Global Ocean Physics Reanalysis,» Global High Resolution Production Centre, 29 04 2021. [Online]. Available: <https://catalogue.marine.copernicus.eu/documents/QUID/CMEMS-GLO-QUID-001-030.pdf>.
- [14] Egbert e Erofeeva, «<http://volkov.oce.orst.edu/tides/otps.html>,» Oregon State University - Tidal Prediction Software (OTPS), 2002. [Online].
- [15] Centro Funzionale Meteo-Idrologico di Protezione Civile (CFMI-PC) della Regione Liguria, «<http://www.cartografiarl.regione.liguria.it/SiraQualMeteo/script/PubAccessoDatiMeteo.asp>,» Stazioni meteo-idrologiche. [Online].
- [16] Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale, «<http://www.adbmagra.it/>,» Piano Stralcio Assetto Idrogeologico per il Bacino del Magra. [Online].
- [17] R. Flather, «A tidal model of the northwest European continental shelf,» *Memories de la Societe Royale des Sciences de Liege*, vol. 6, n. 10, p. 141–164, 1976.
- [18] Marco Capello (DISTAV), «Caratterizzazione chimico-fisica e dinamica dell'area molo secondario concessione SNAM Panigaglia (La Spezia) - Fase ante operam,» 26-27/02/2021.
- [19] DHI, «Øresund Link Environmental Impact Assessment,» 1990-2000.
- [20] DHI, «Feedback Monitoring, Environmental Monitoring and Management,» Øresund, Denmark, 1995-2000.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA	REL-AMB-E-09108	
	DOCUMENTO Studio a supporto del dragaggio dei fondali in corrispondenza del pontile per le navi metaniere di Panigaglia (SP) Studio modellistico di dispersione dei sedimenti	Fg. 64 di 154	Rev. 00

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-108

10. ALLEGATI

- Allegato A – Concentrazione di solidi sospesi totali nelle zone target
- Allegato B – MIKE 3 Flow Model - Hydrodynamics
- Allegato C – MIKE 3 MT – Mud Transport

AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA
STUDIO PRELIMINARE AMBIENTALE

ai sensi dell'art. 19 del D.Lgs. 152/06 e s.m.i.

Annesso 8
Studio modellistico di dispersione dei sedimenti durante l'attività di dragaggio

ALLEGATO A
CONCENTRAZIONE DI SOLIDI SOSPESI TOTALI NELLE ZONE TARGET

00	Emissione per Permessi	PP / MS	MS	NF	Marzo 2024
Rev.	Descrizione	Elaborato	Verificato	Approvato	Data

CONCENTRAZIONE DI SOLIDI SOSPESI TOTALI NELLE ZONE TARGET

Serie temporali estratte, per ogni simulazione effettuata, in corrispondenza delle tre zone target identificate in Figura 1, per lo strato superficiale, a metà colonna e sul fondo.

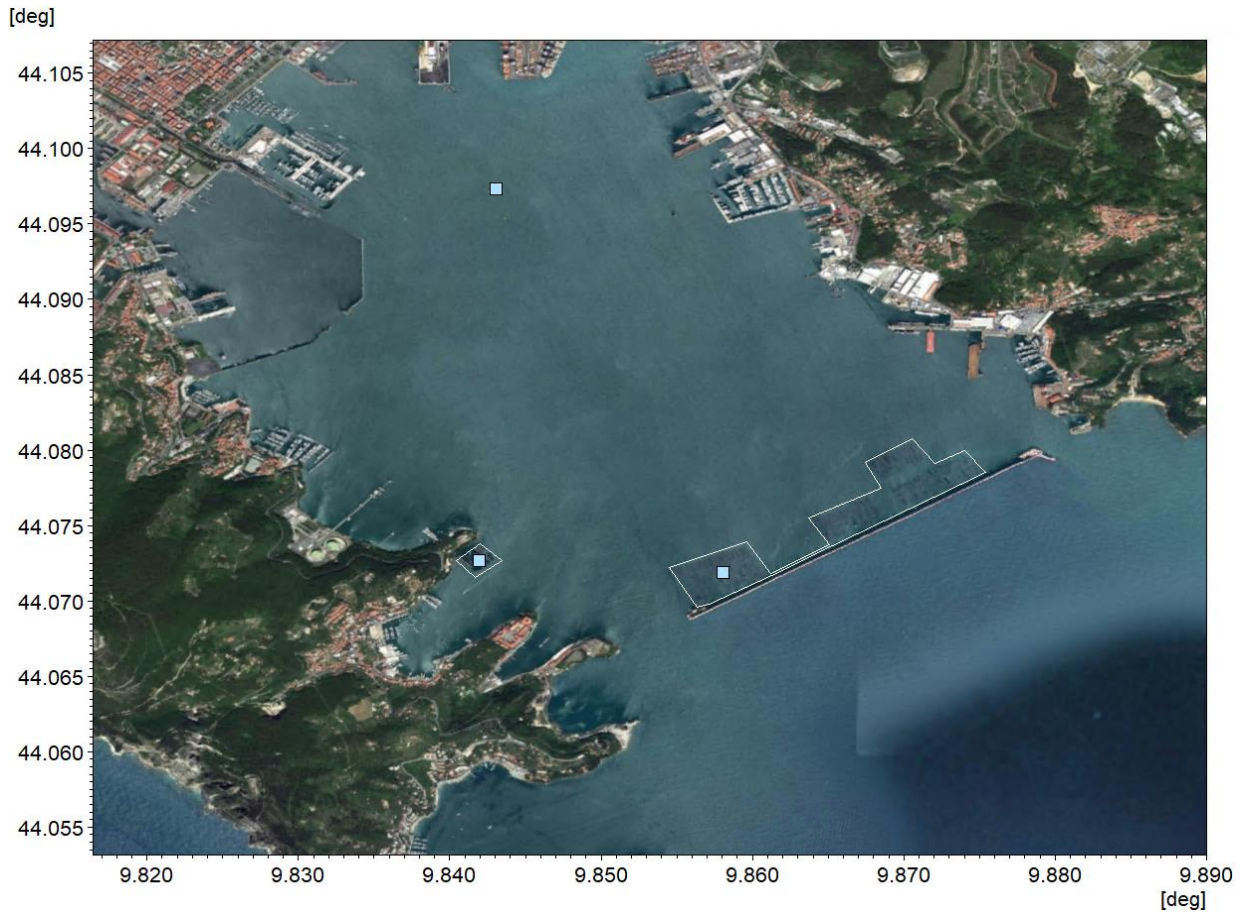
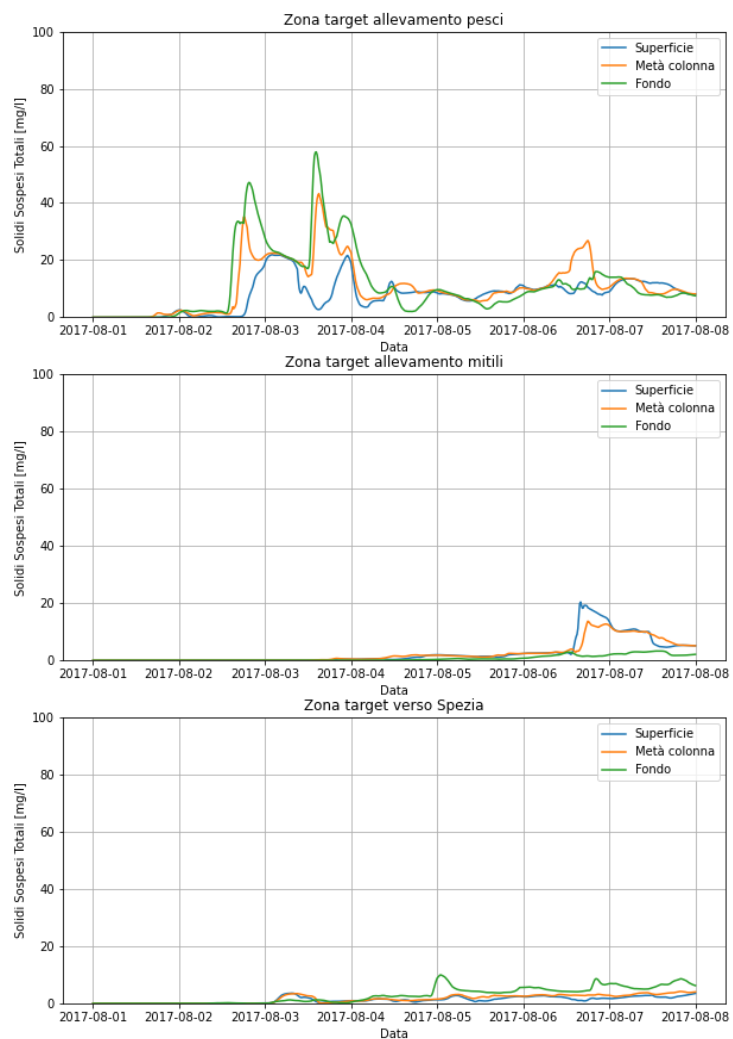


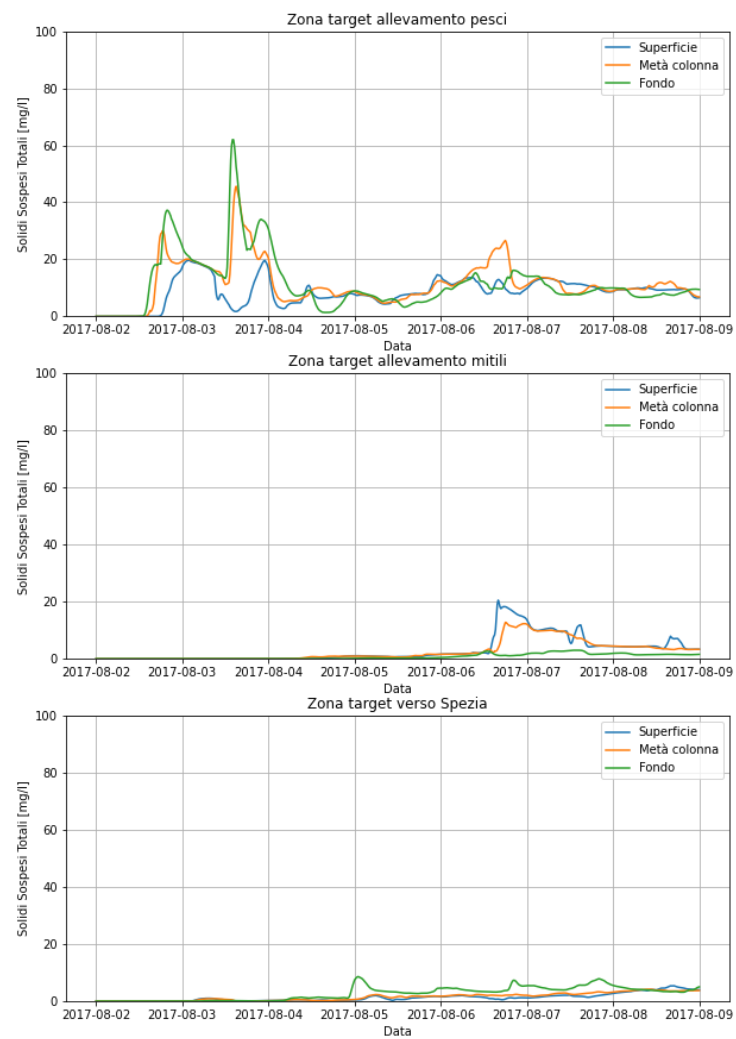
Figura 1 Posizione dei tre punti di estrazione delle serie temporali di concentrazione di solidi sospesi totali

PERIODO ESTIVO – BENNA – AREA 1

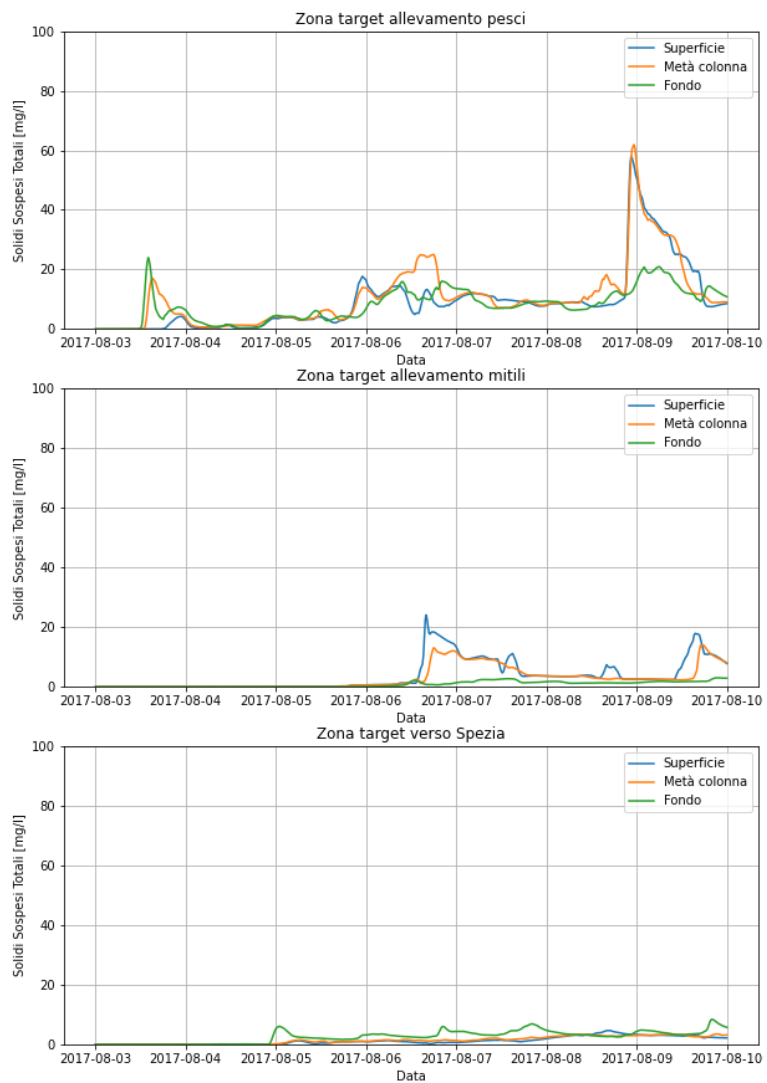
Simulazione_01_MT-mec-aug-area1



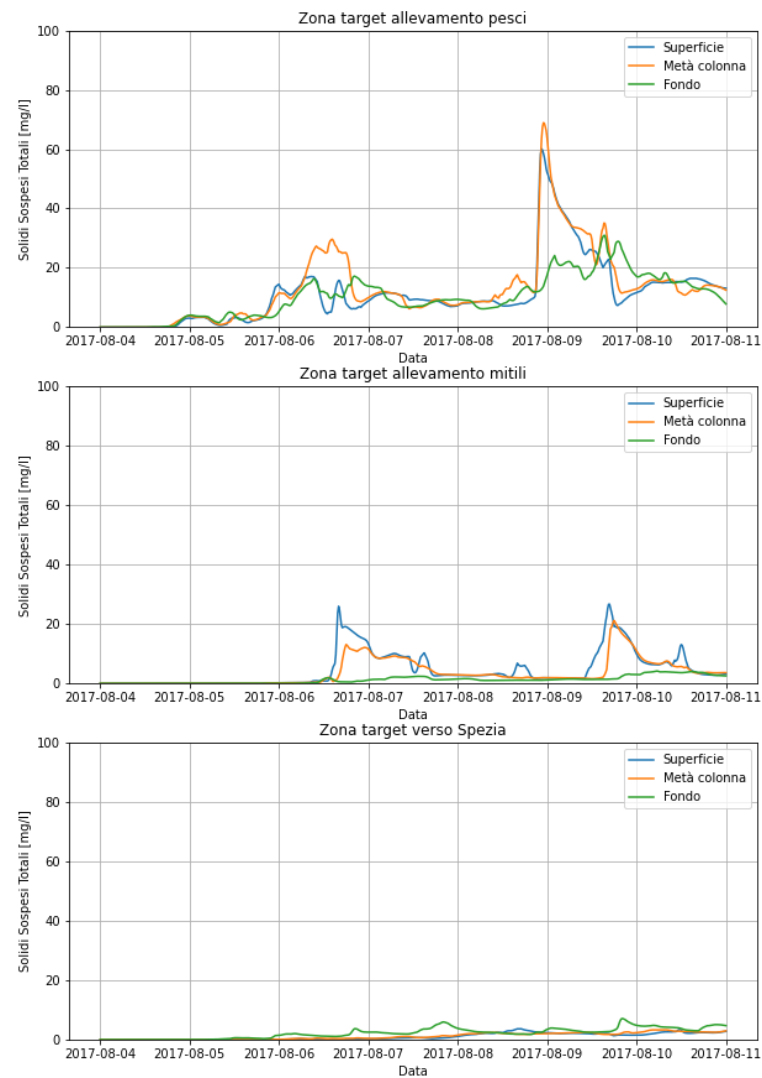
Simulazione_02_MT-mec-aug-area1



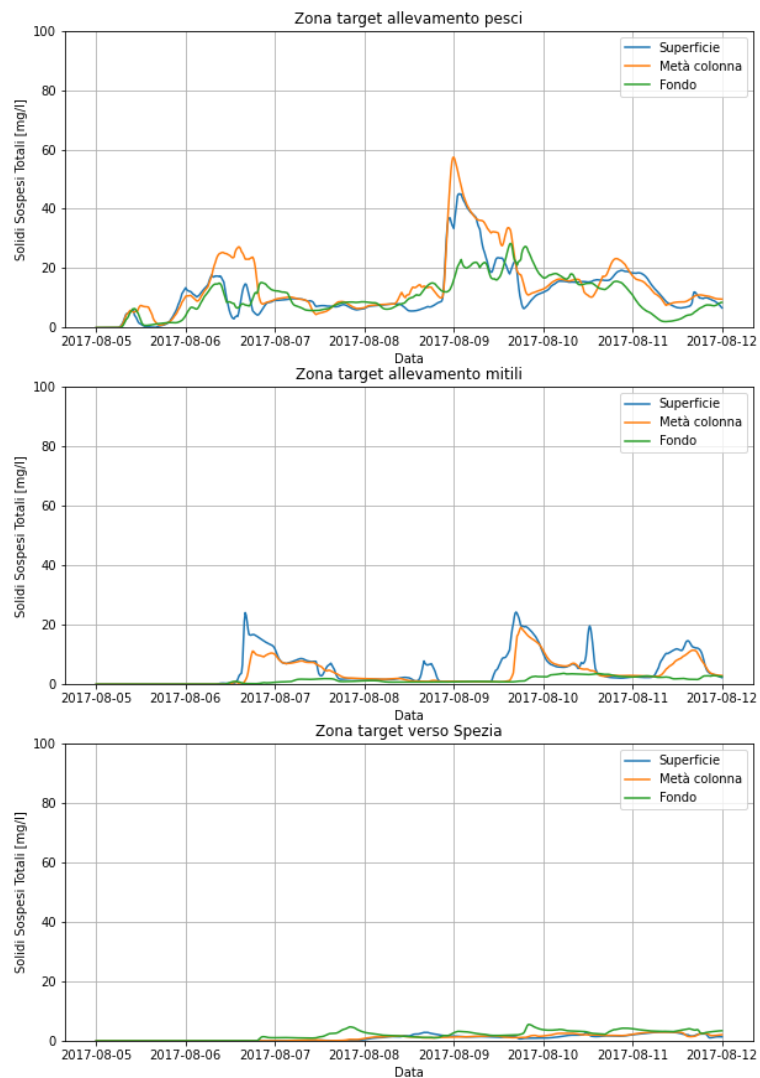
Simulazione_03_MT-mec-aug-area1



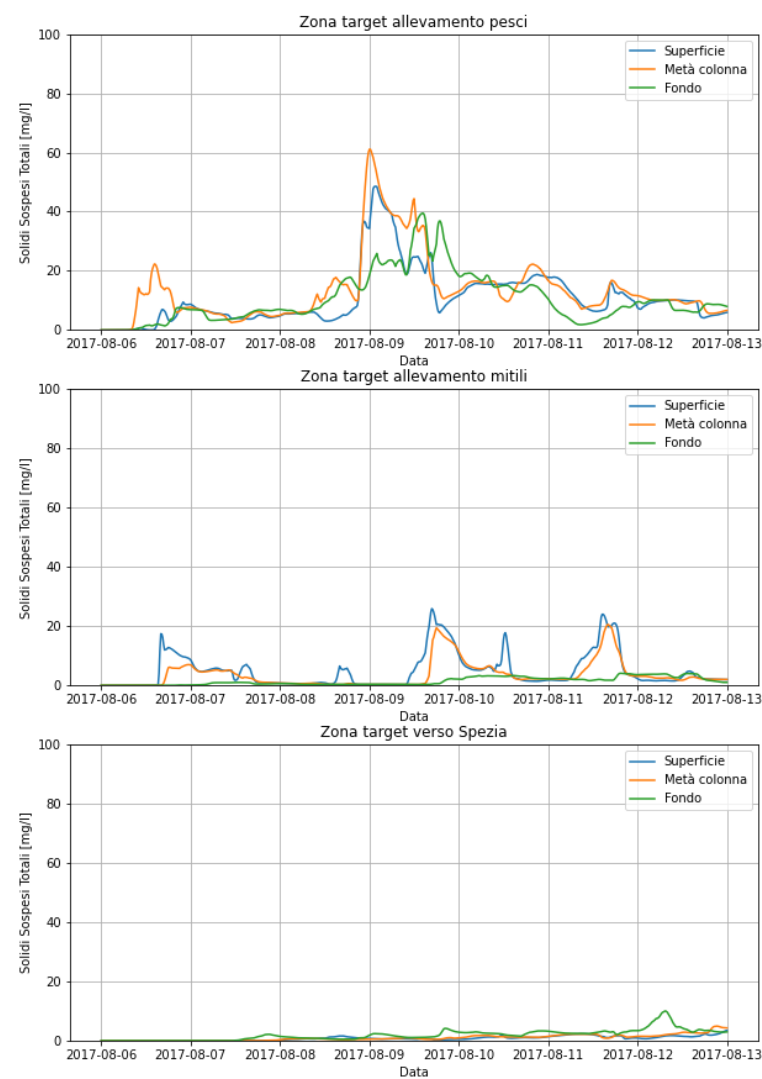
Simulazione_04_MT-mec-aug-area1



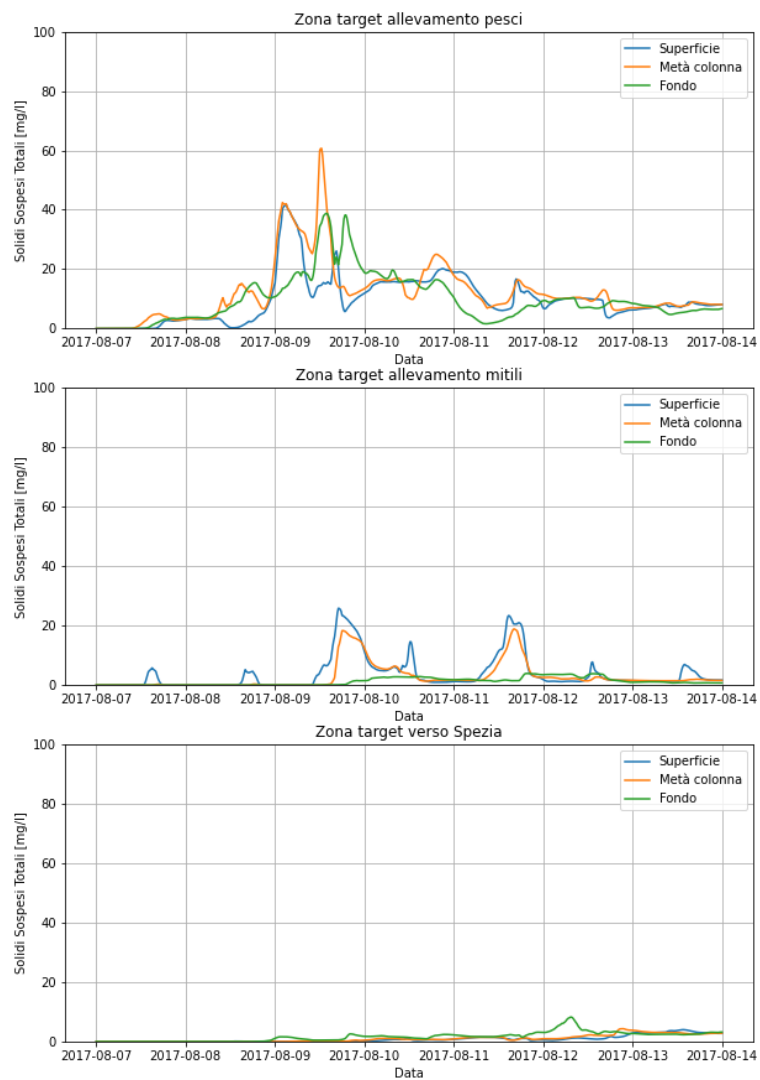
Simulazione_05_MT-mec-aug-area1



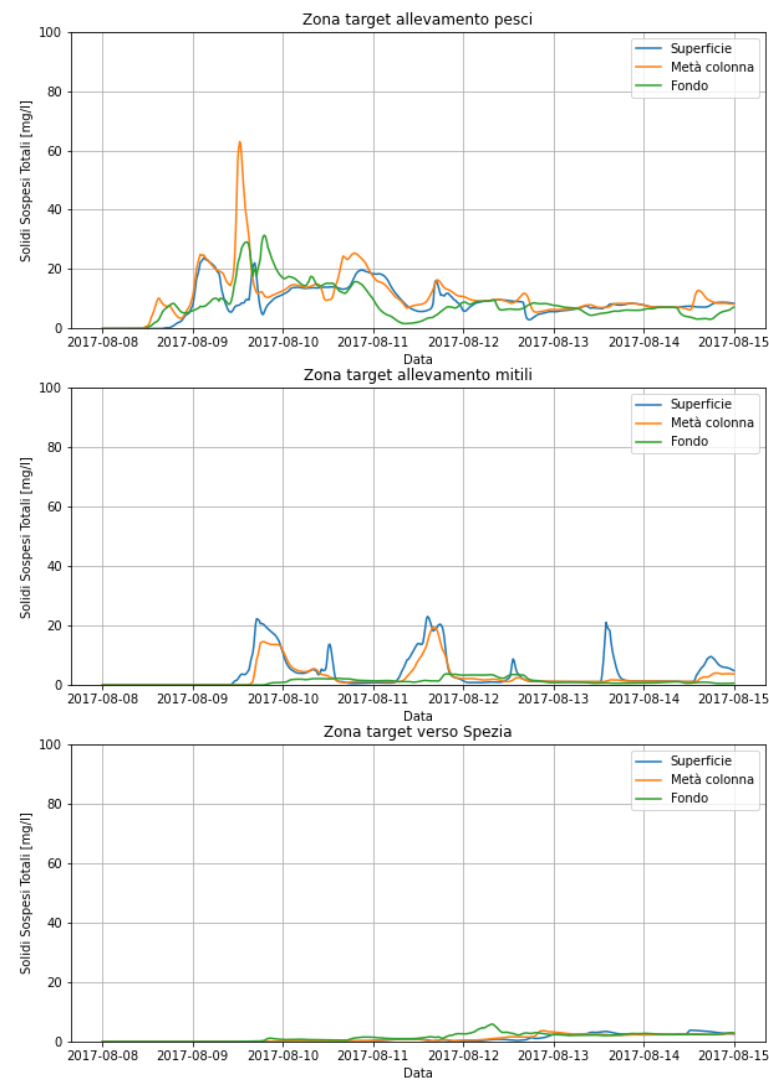
Simulazione_06_MT-mec-aug-area1



Simulazione_07_MT-mec-aug-area1

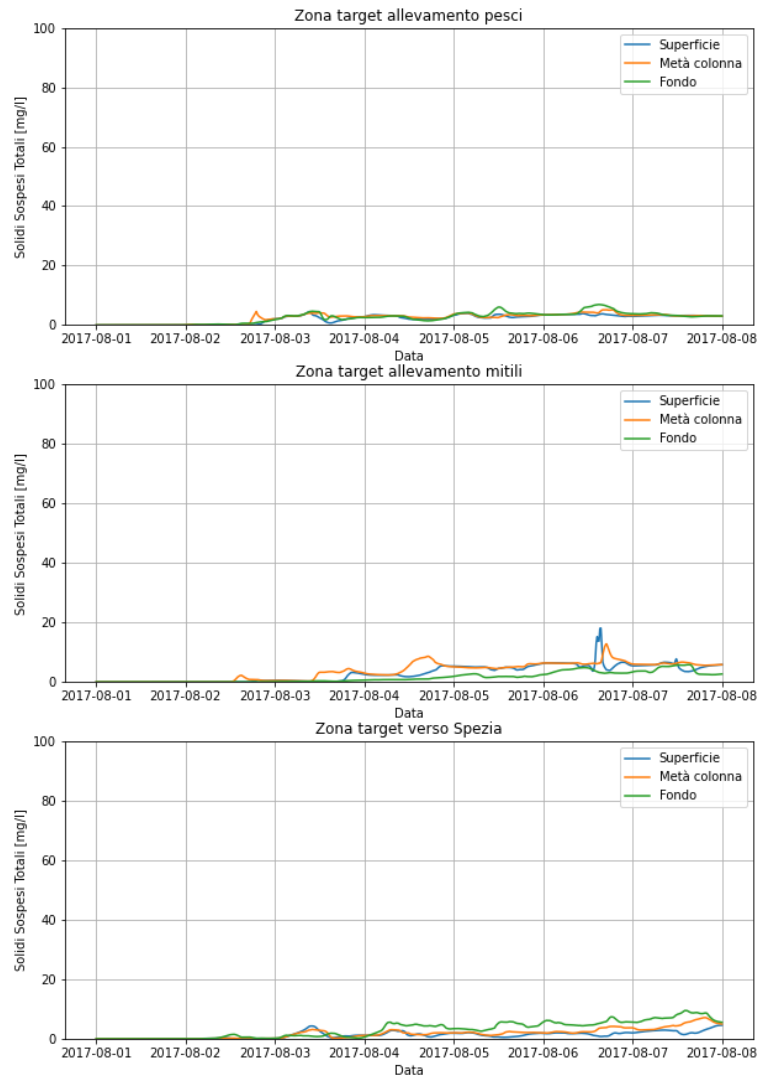


Simulazione_08_MT-mec-aug-area1

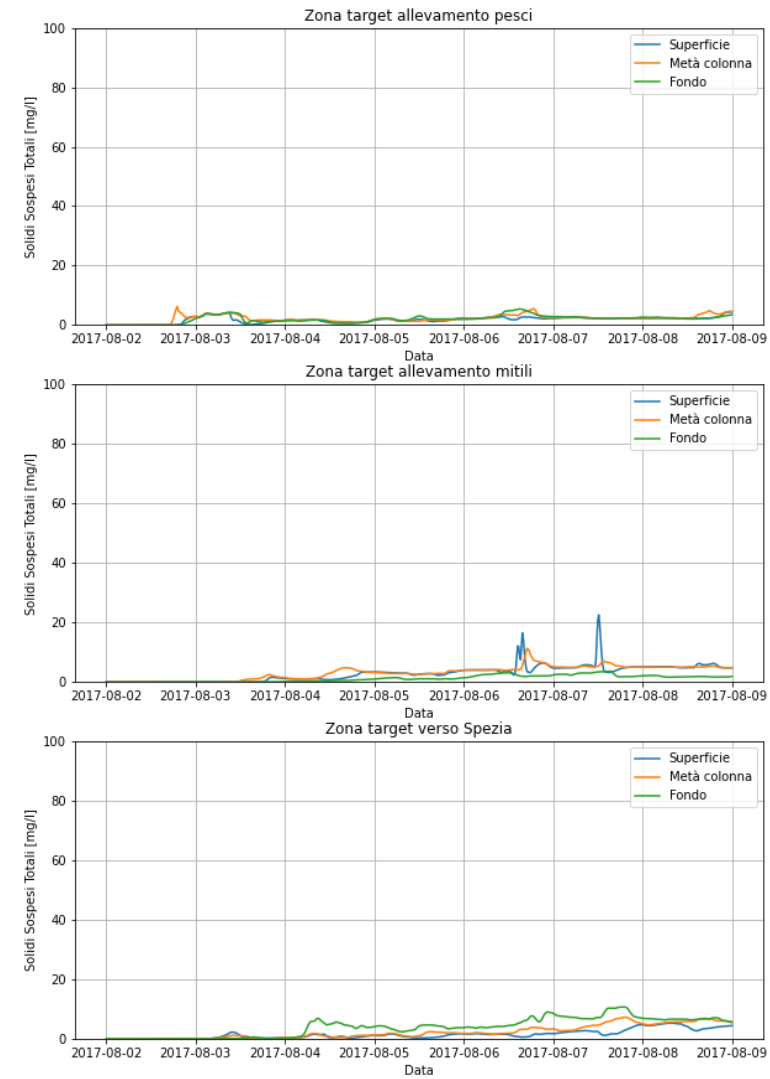


PERIODO ESTIVO – BENNA – AREA 2

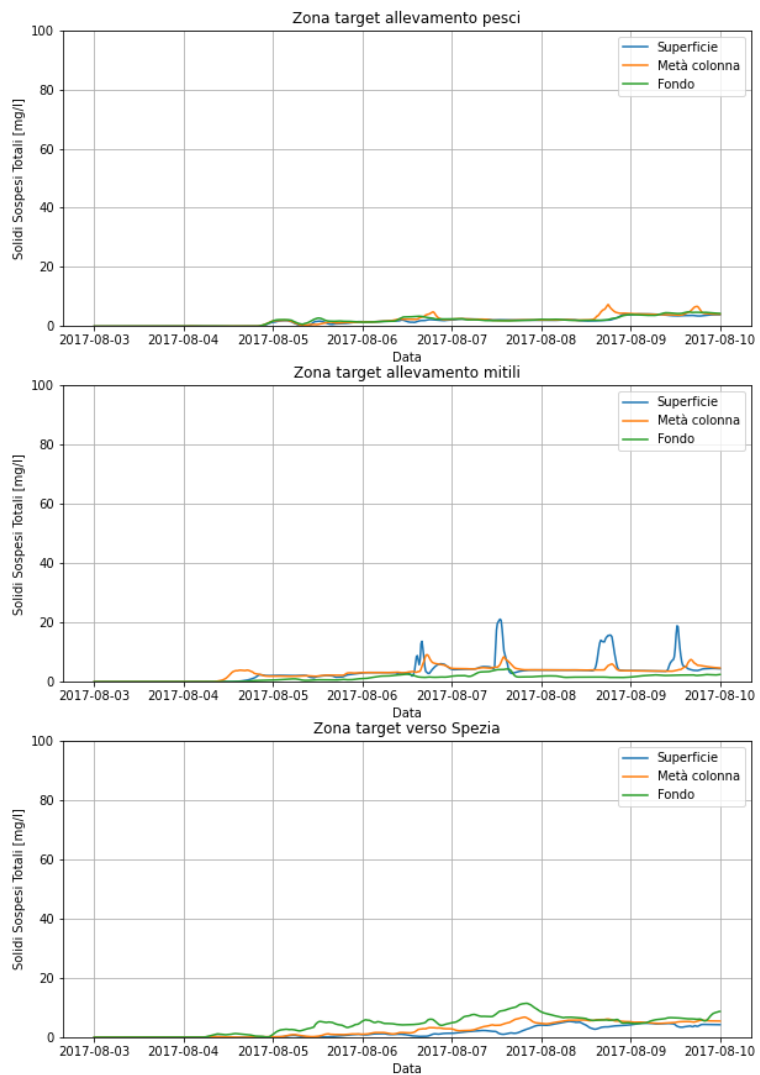
Simulazione_01__MT-mec-aug-area2



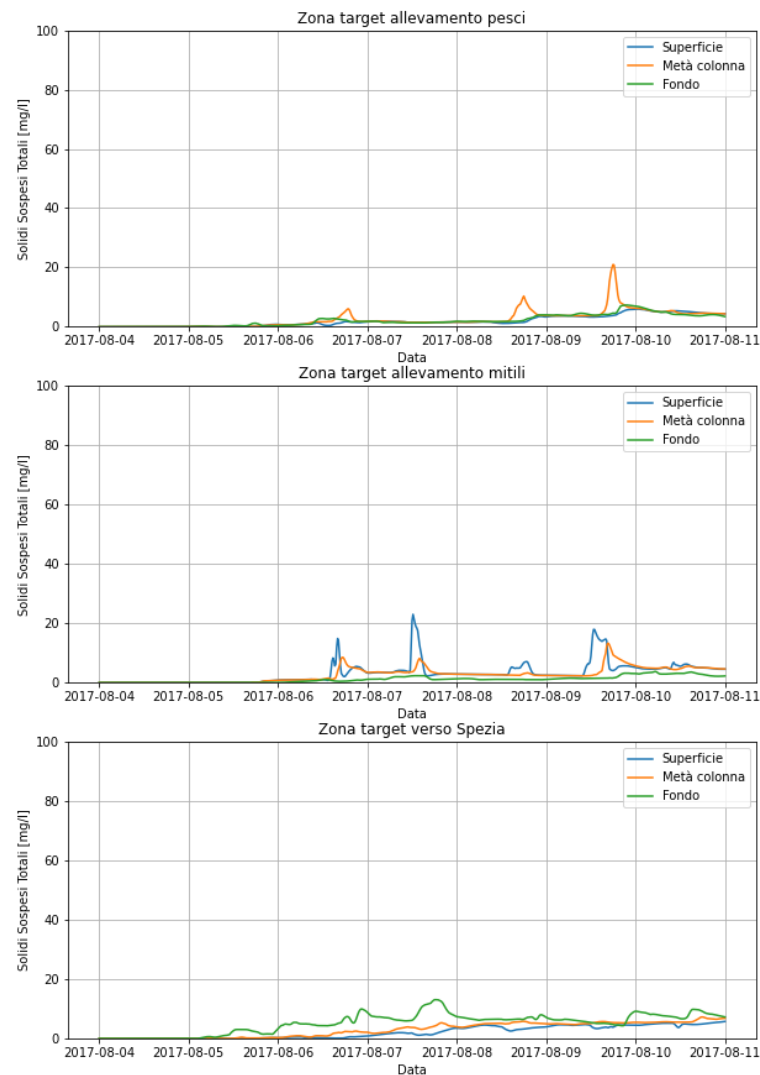
Simulazione_02__MT-mec-aug-area2



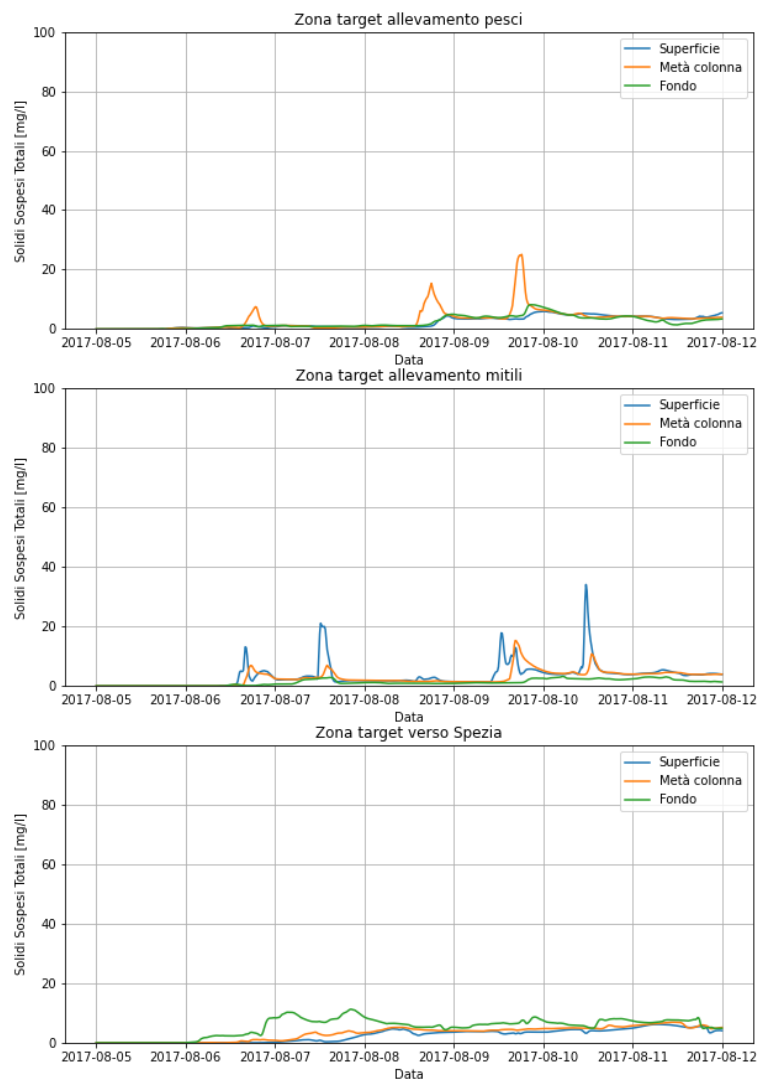
Simulazione_03_MT-mec-aug-area2



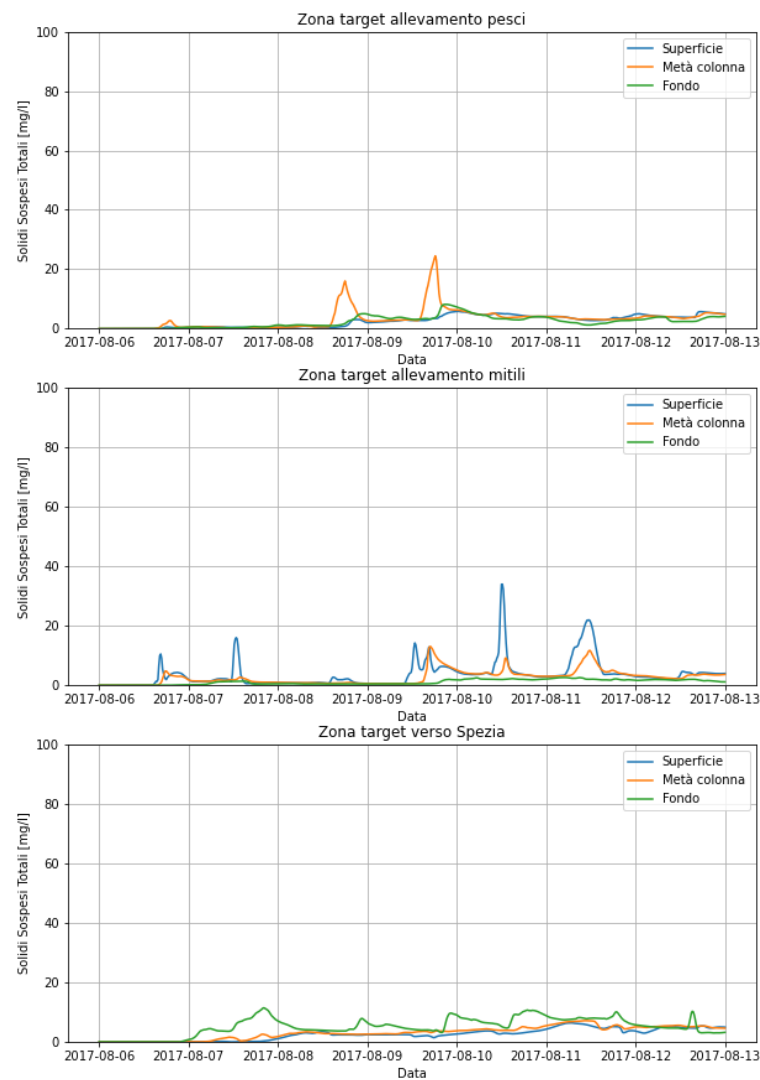
Simulazione_04_MT-mec-aug-area2



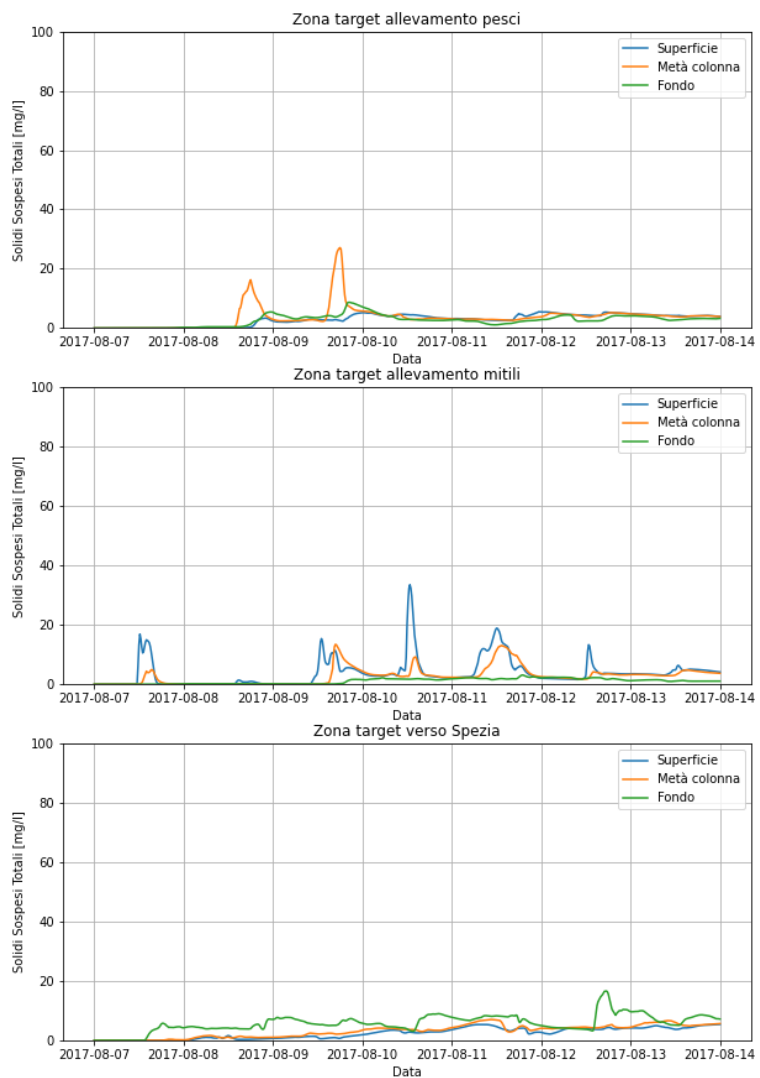
Simulazione_05_MT-mec-aug-area2



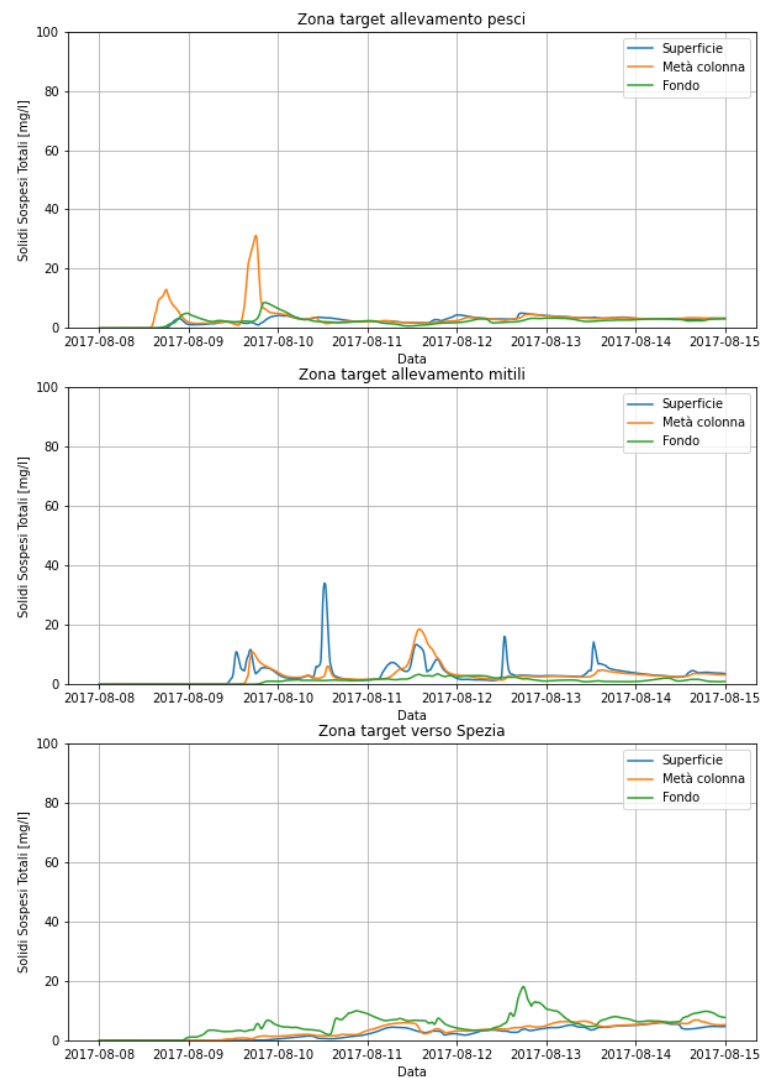
Simulazione_06_MT-mec-aug-area2



Simulazione_07_MT-mec-aug-area2

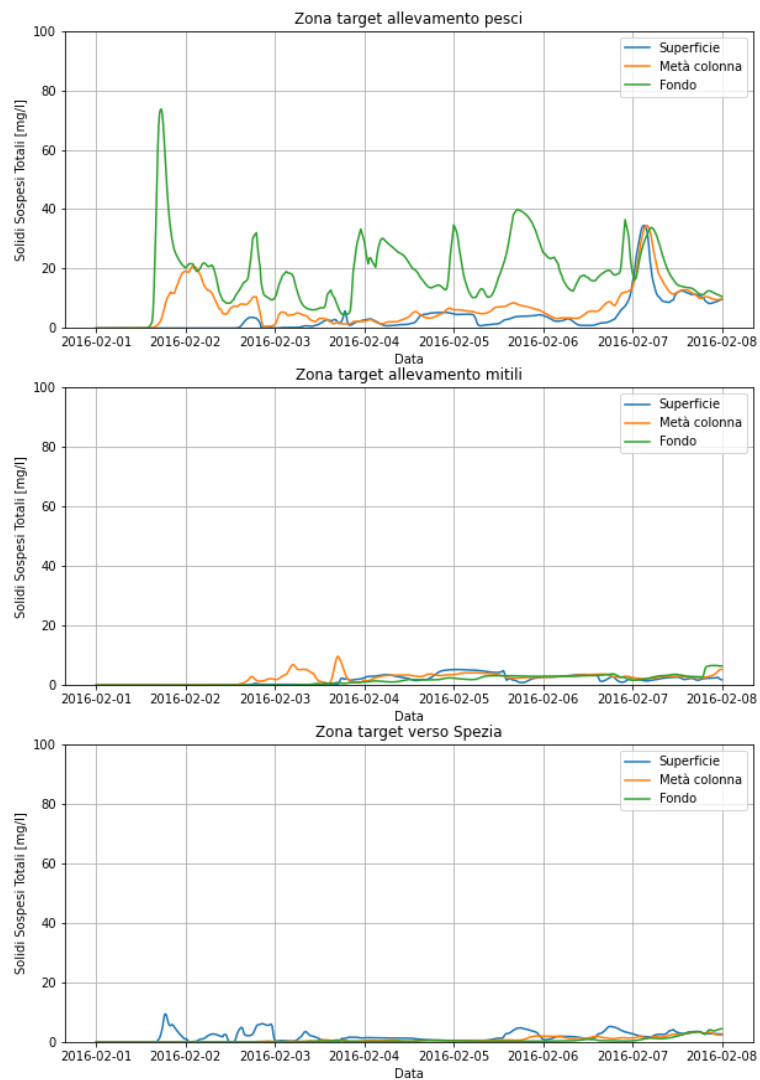


Simulazione_08_MT-mec-aug-area2

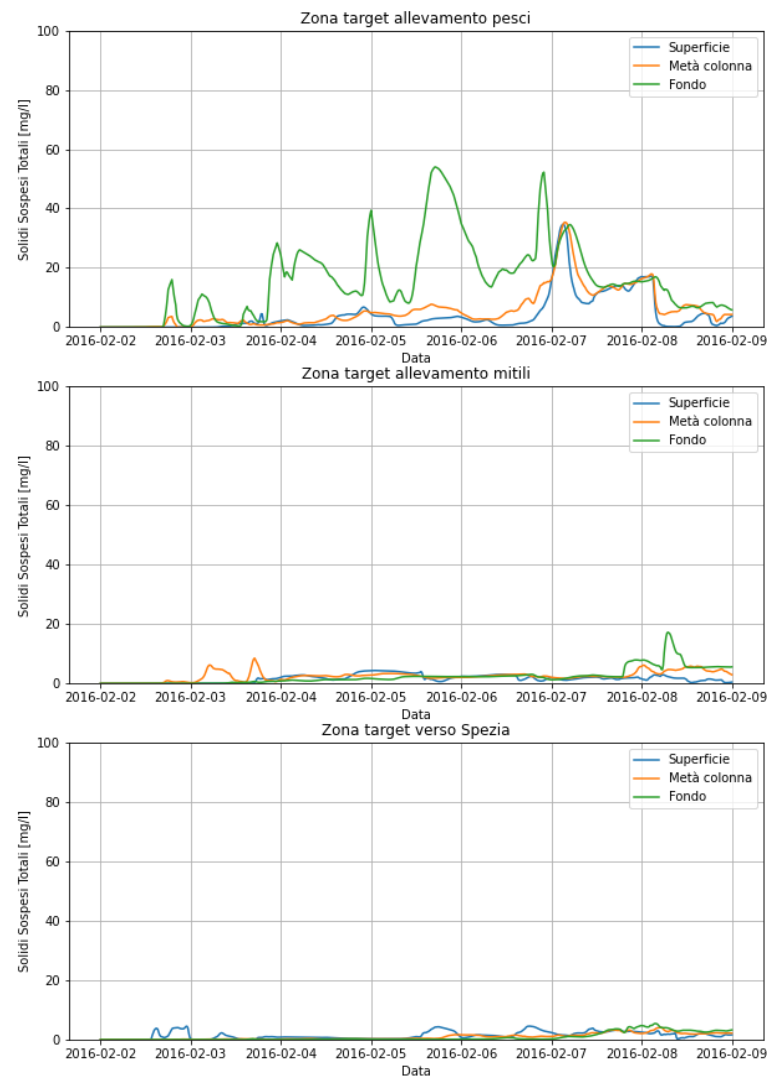


PERIODO INVERNALE – BENNA – AREA 1

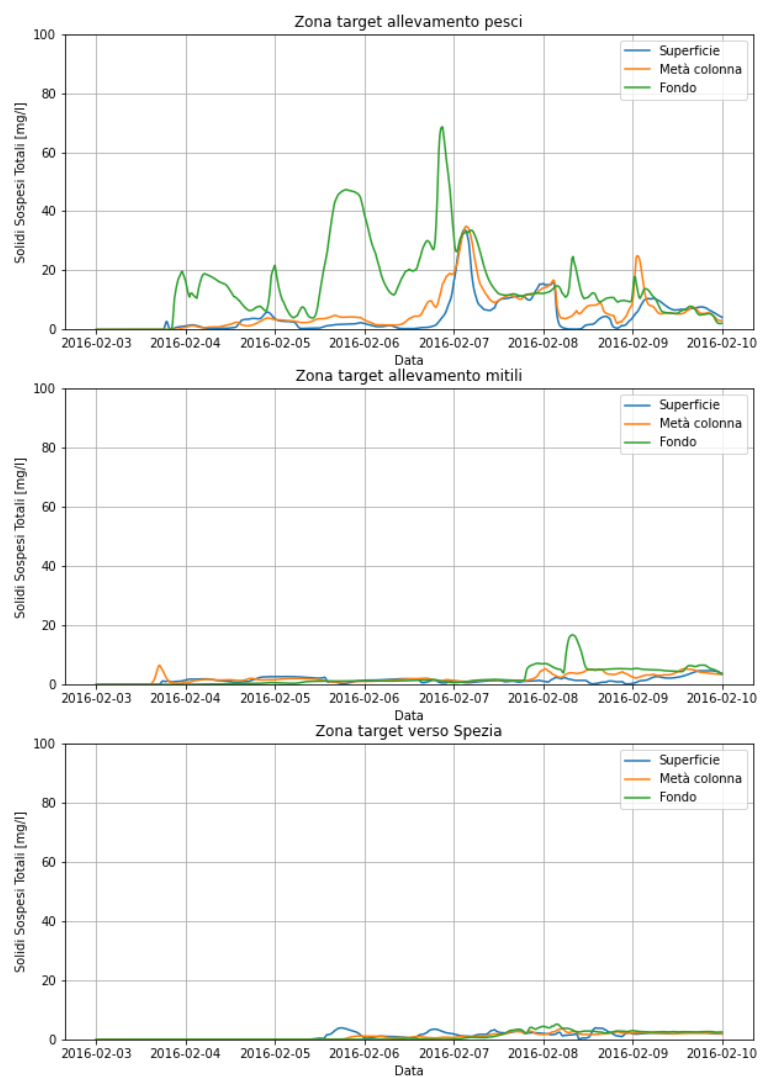
Simulazione_01_MT-mec-feb-area1



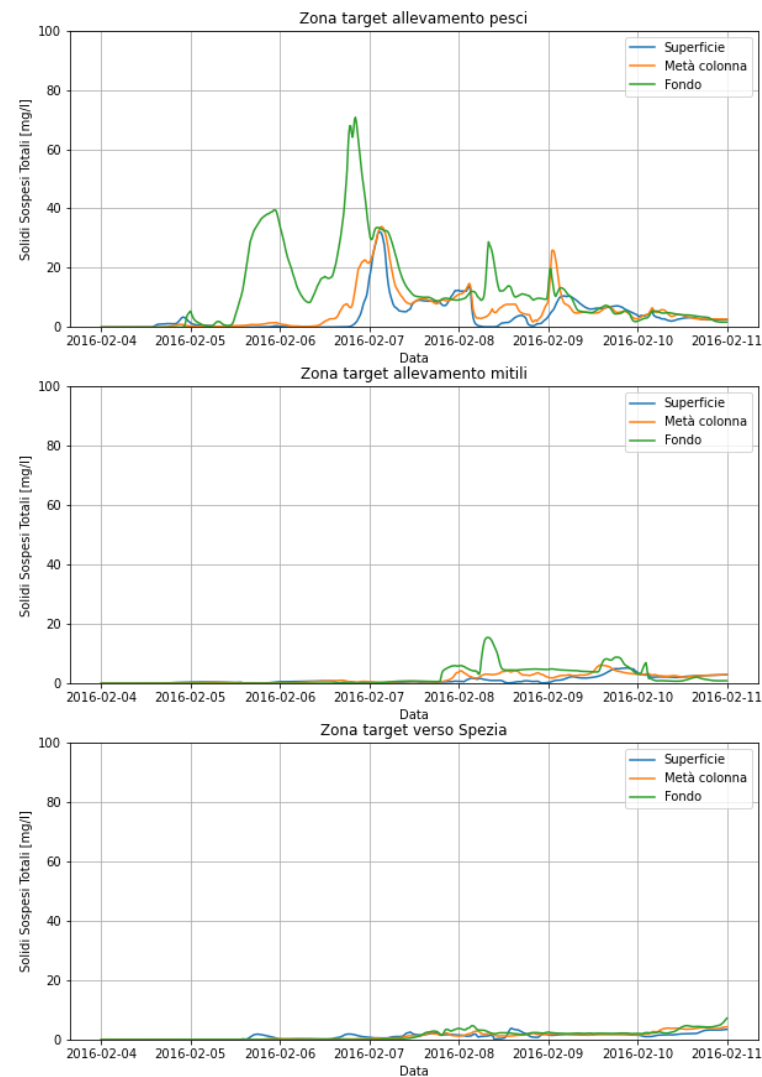
Simulazione_02_MT-mec-feb-area1



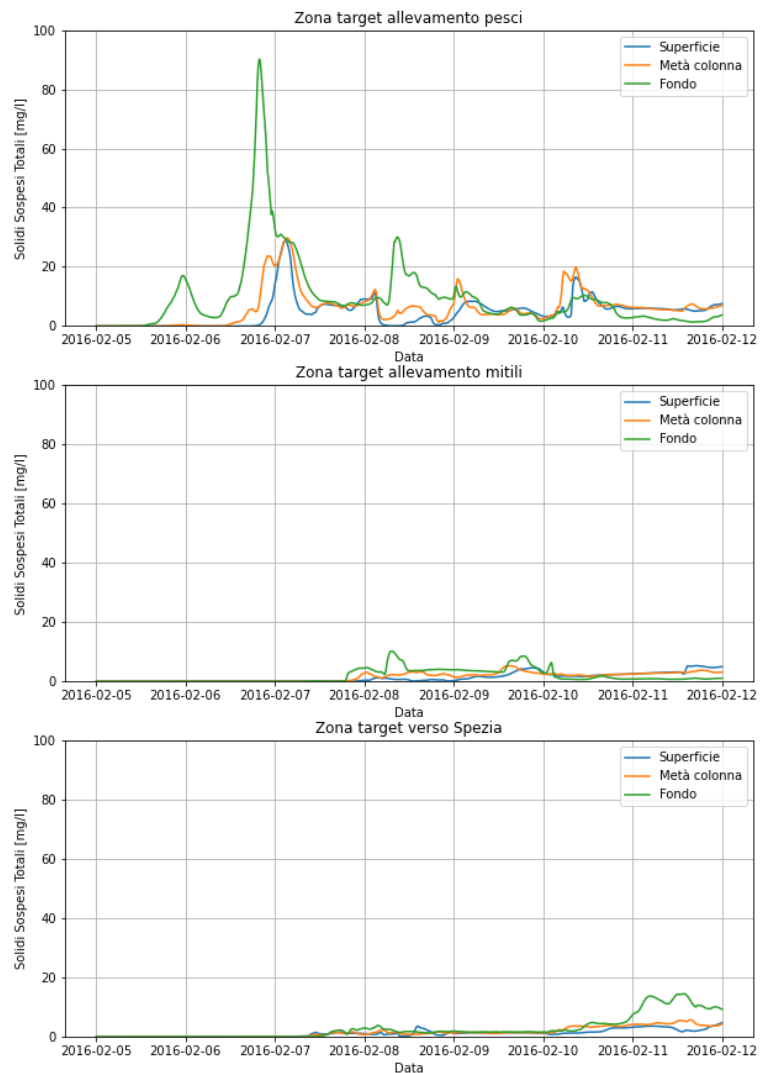
Simulazione_03_MT-mec-feb-area1



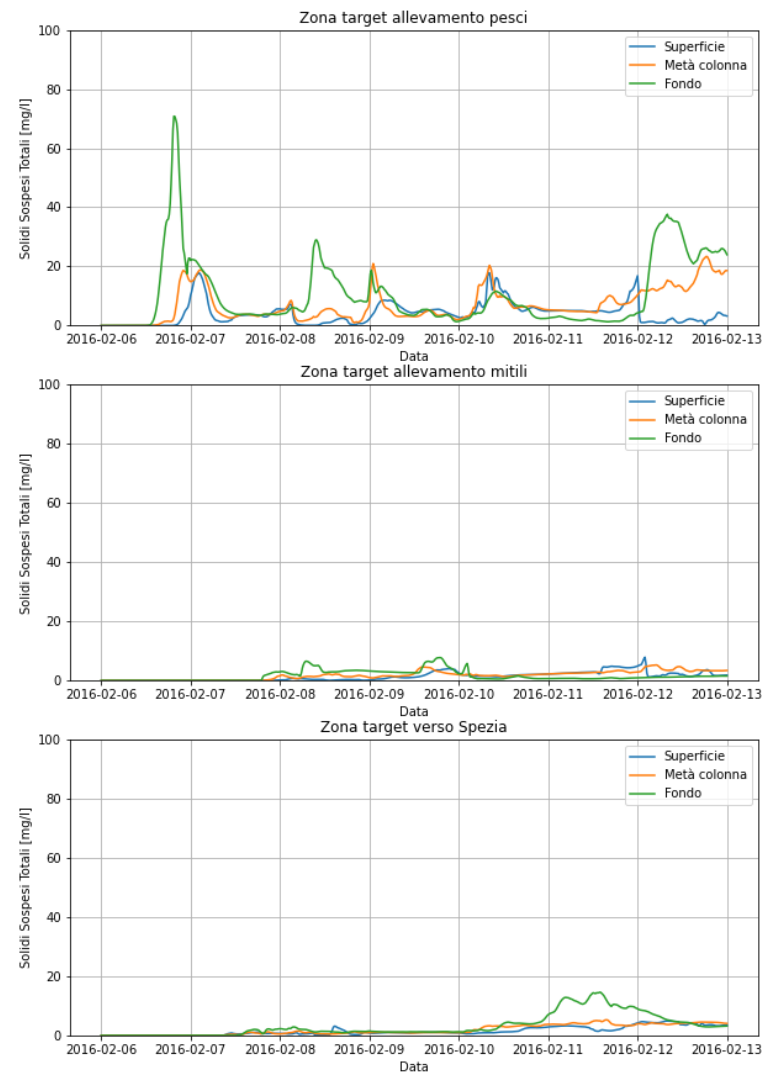
Simulazione_04_MT-mec-feb-area1



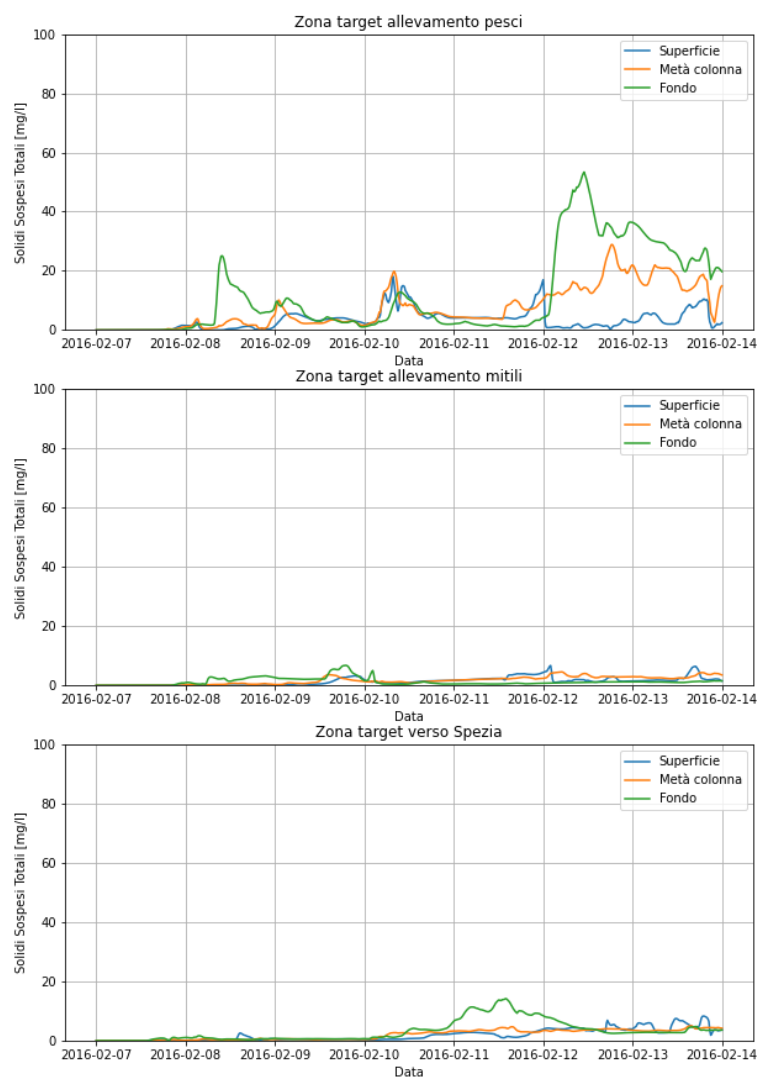
Simulazione_05_MT-mec-feb-area1



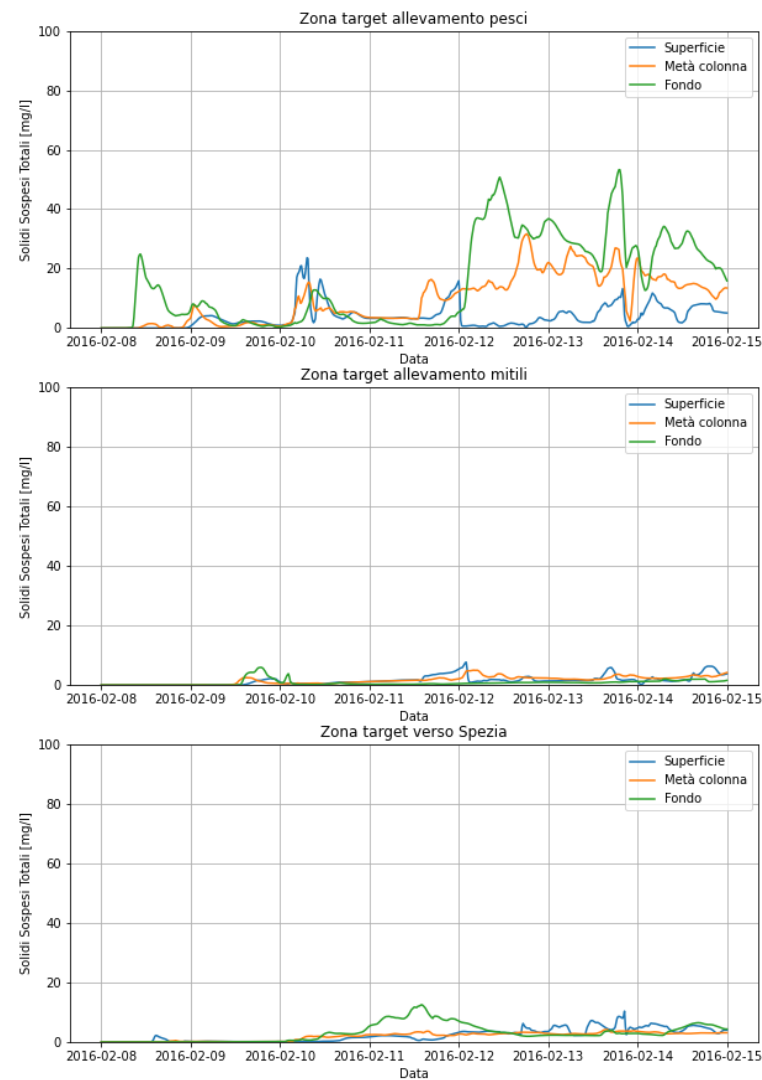
Simulazione_06_MT-mec-feb-area1



Simulazione_07_MT-mec-feb-area1

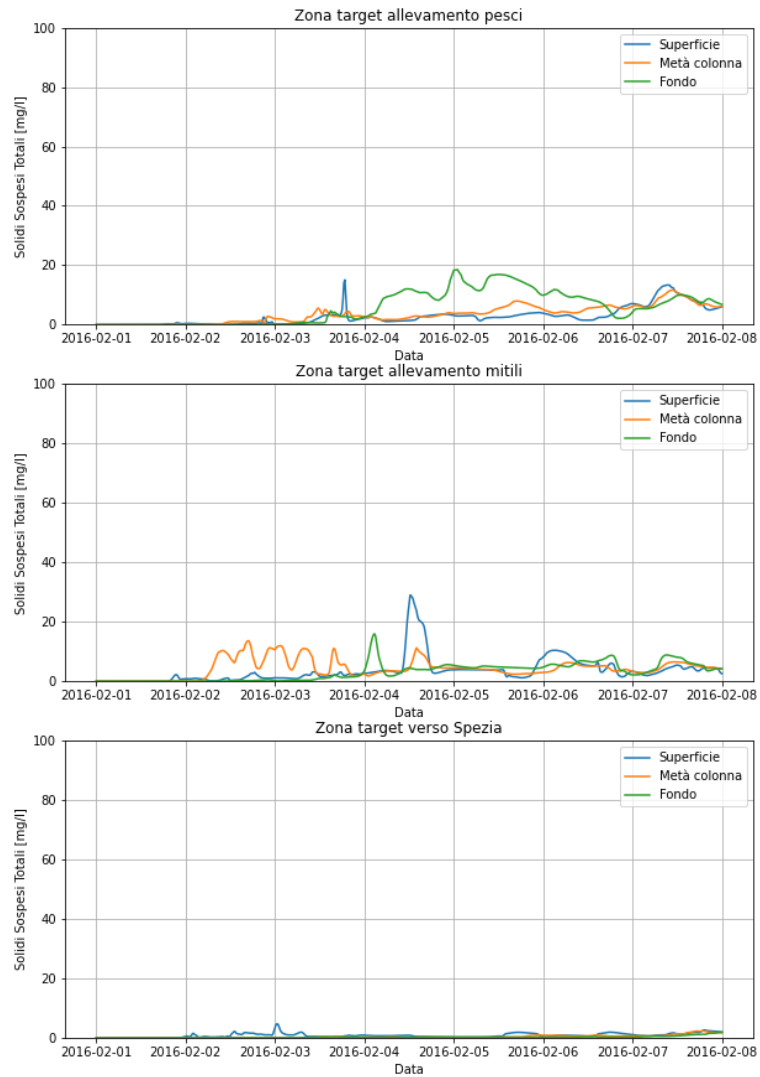


Simulazione_08_MT-mec-feb-area1

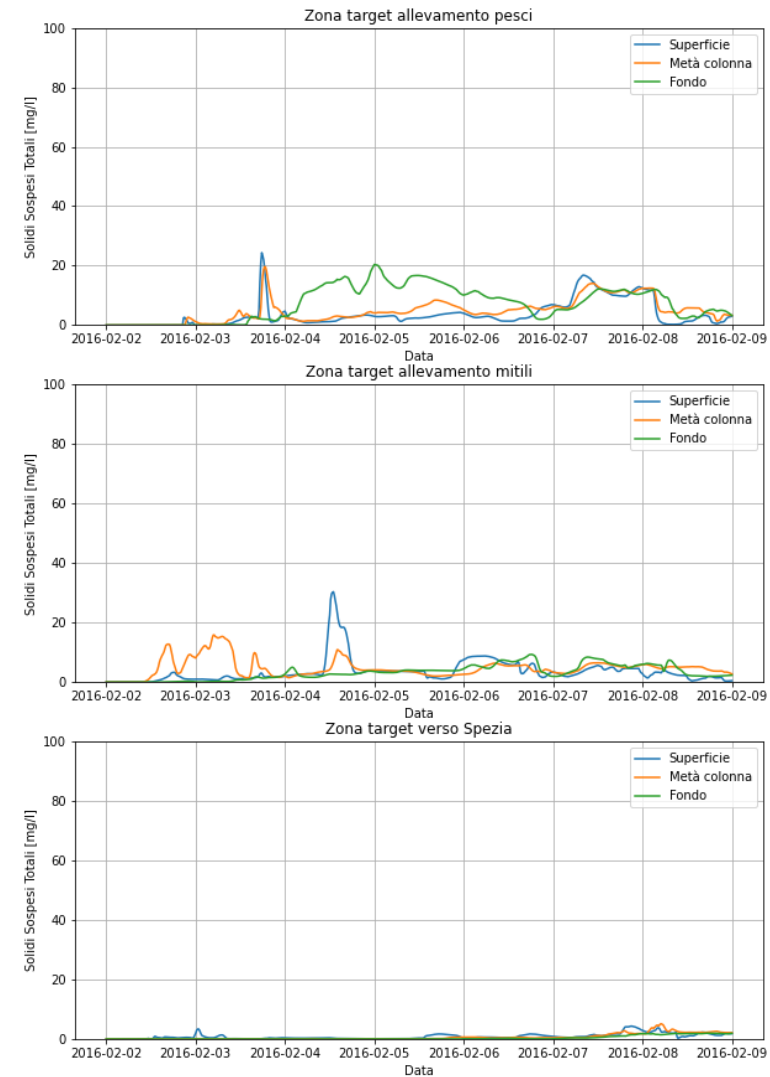


PERIODO INVERNALE – BENNA – AREA 2

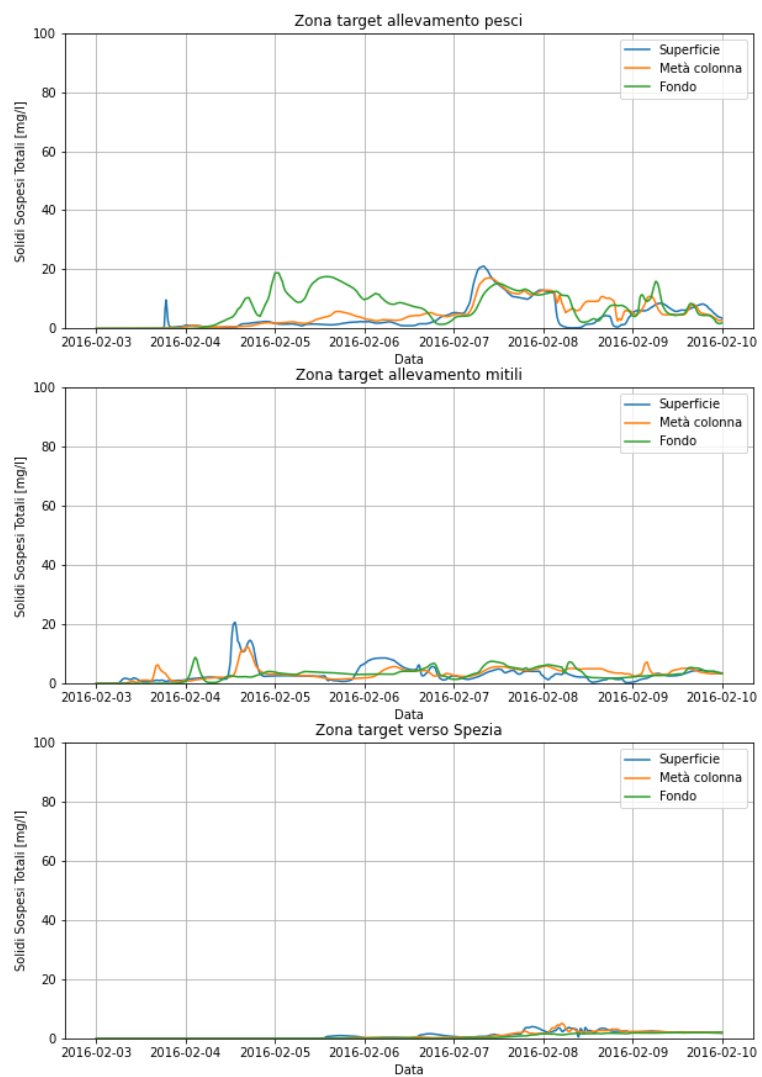
Simulazione_01__MT-mec-feb-area2



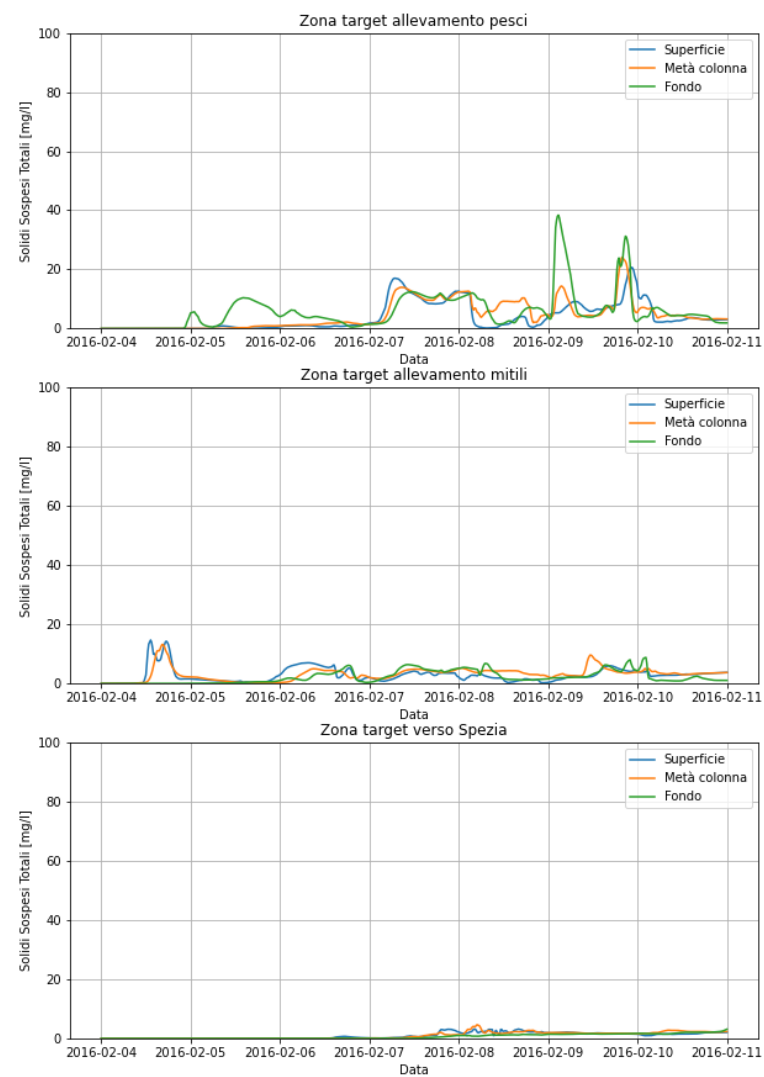
Simulazione_02__MT-mec-feb-area2



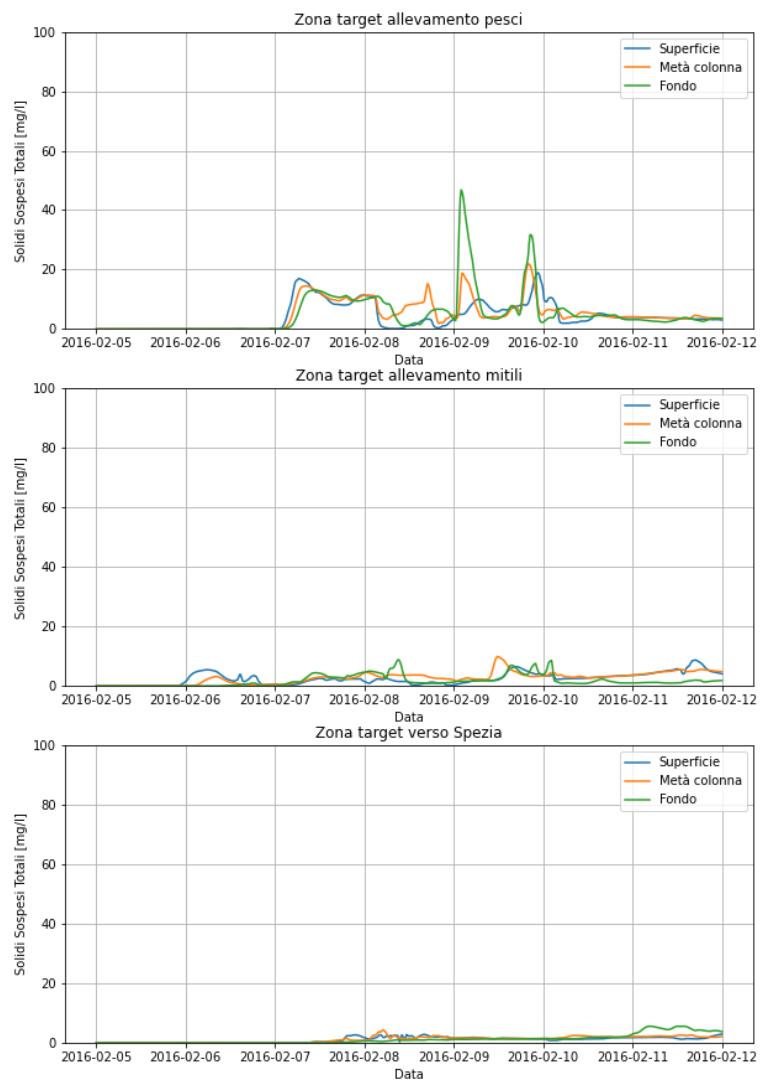
Simulazione_03_MT-mec-feb-area2



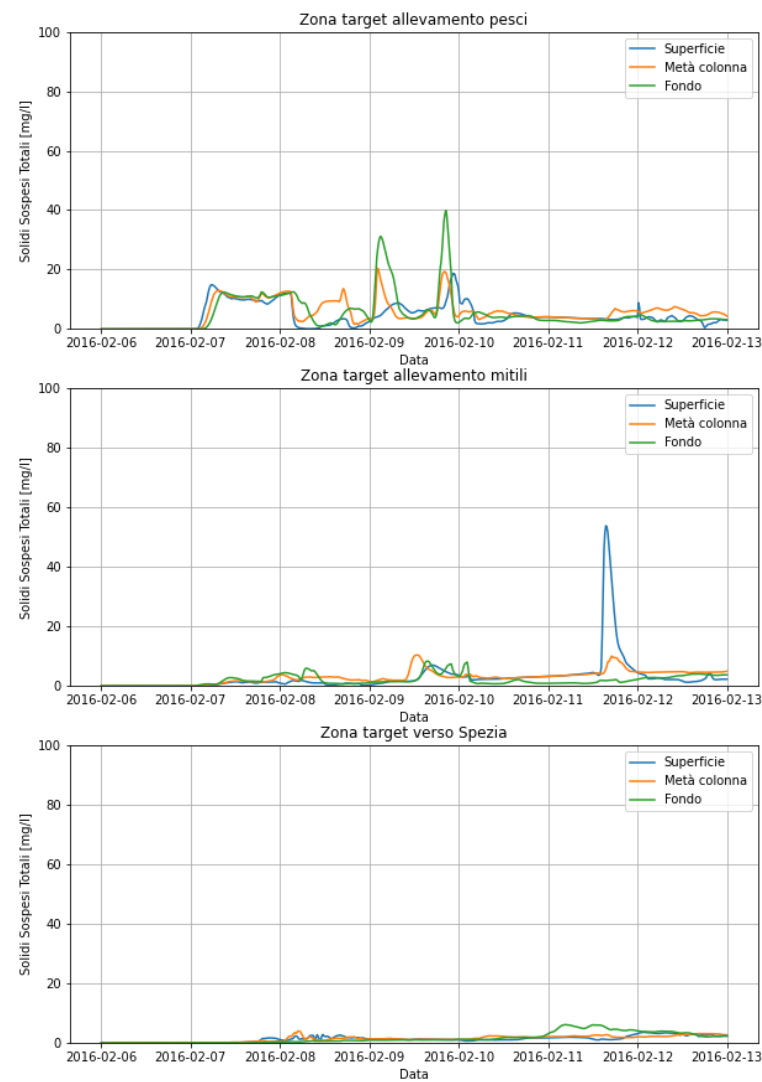
Simulazione_04_MT-mec-feb-area2



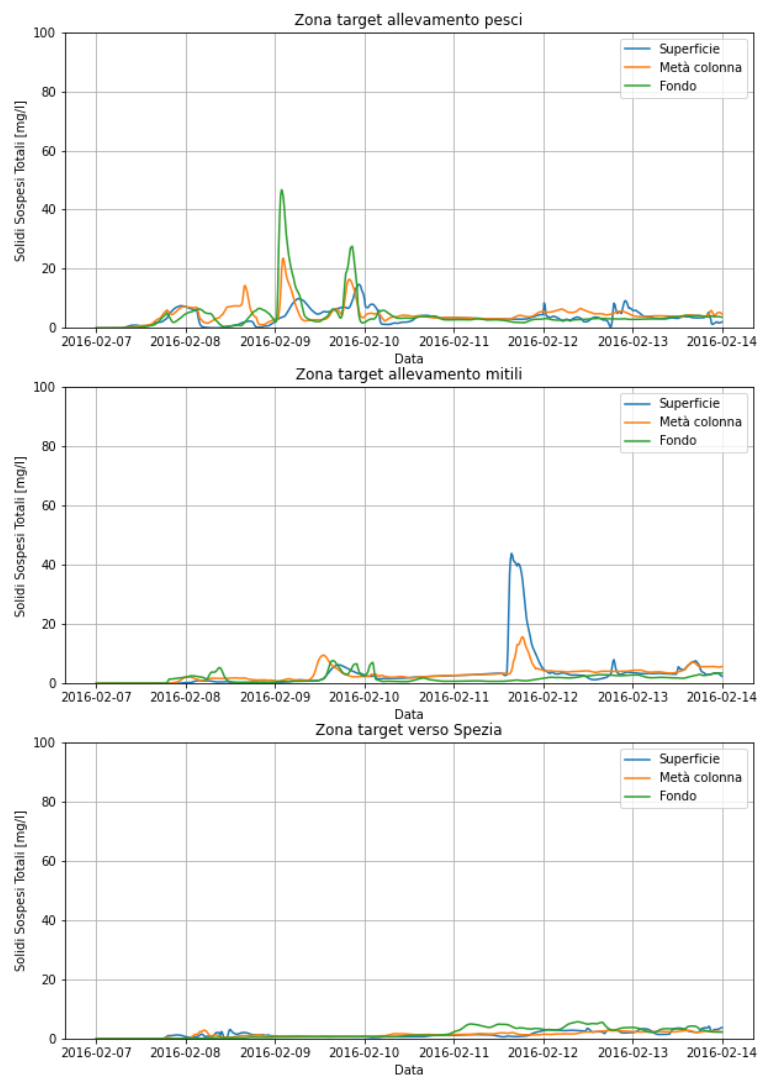
Simulazione_05_MT-mec-feb-area2



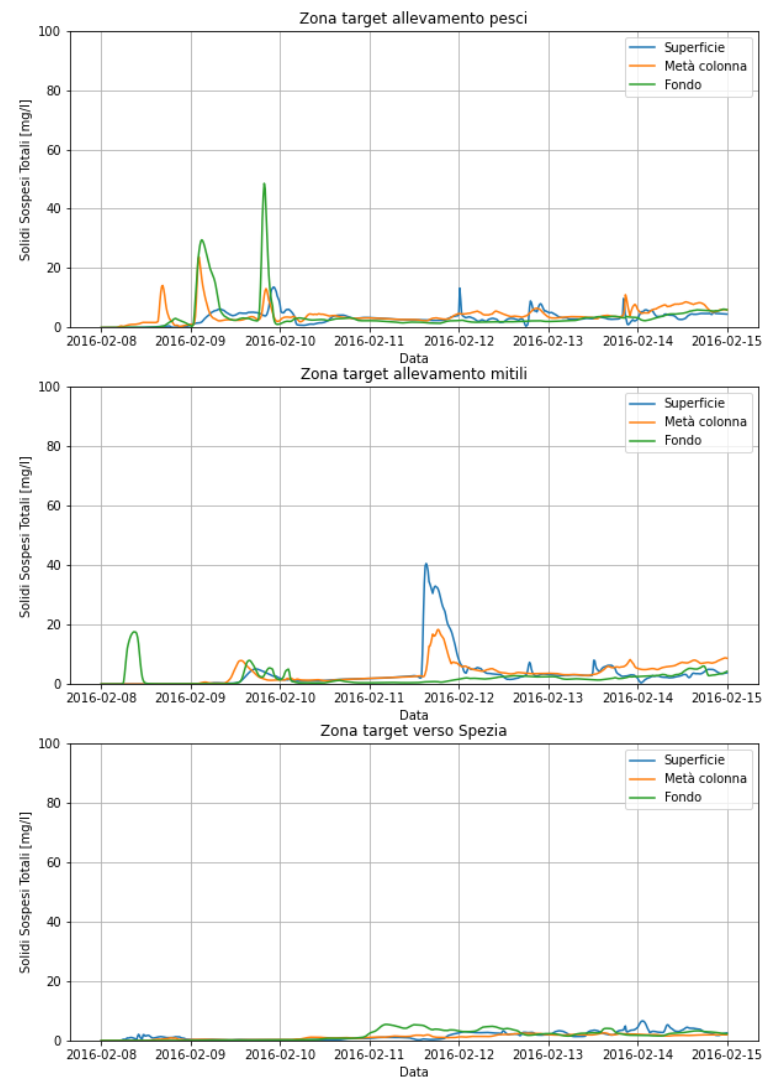
Simulazione_06_MT-mec-feb-area2



Simulazione_07_MT-mec-feb-area2

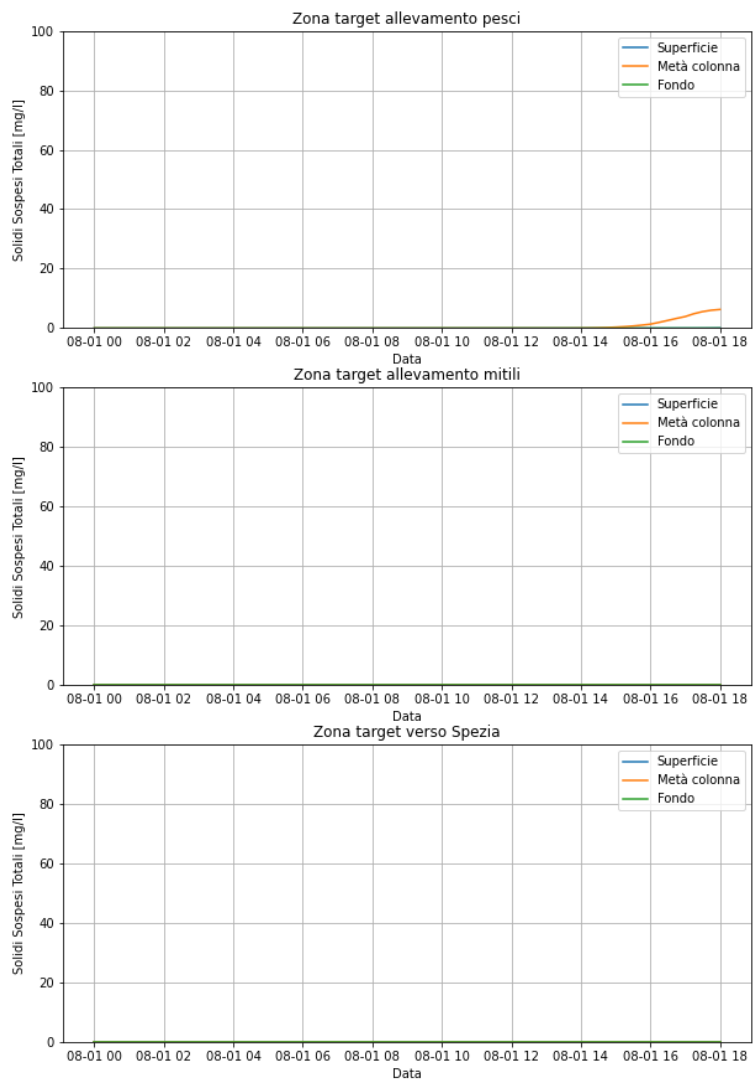


Simulazione_08_MT-mec-feb-area2

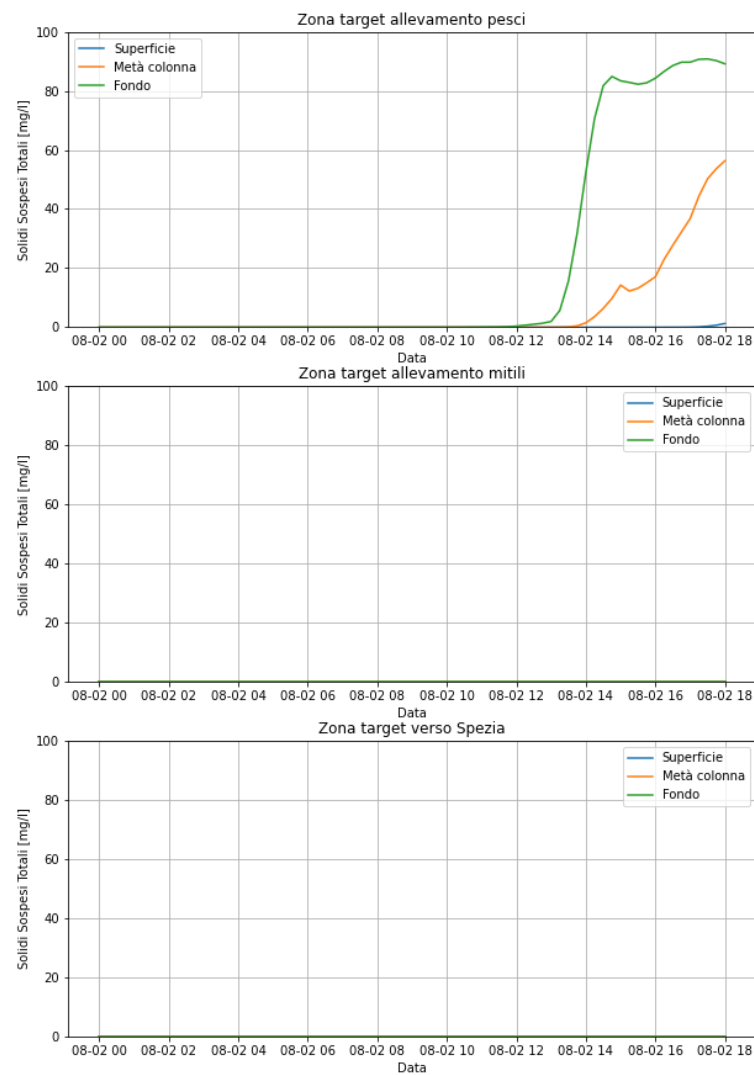


PERIODO ESTIVO – SORBONA – AREA 1

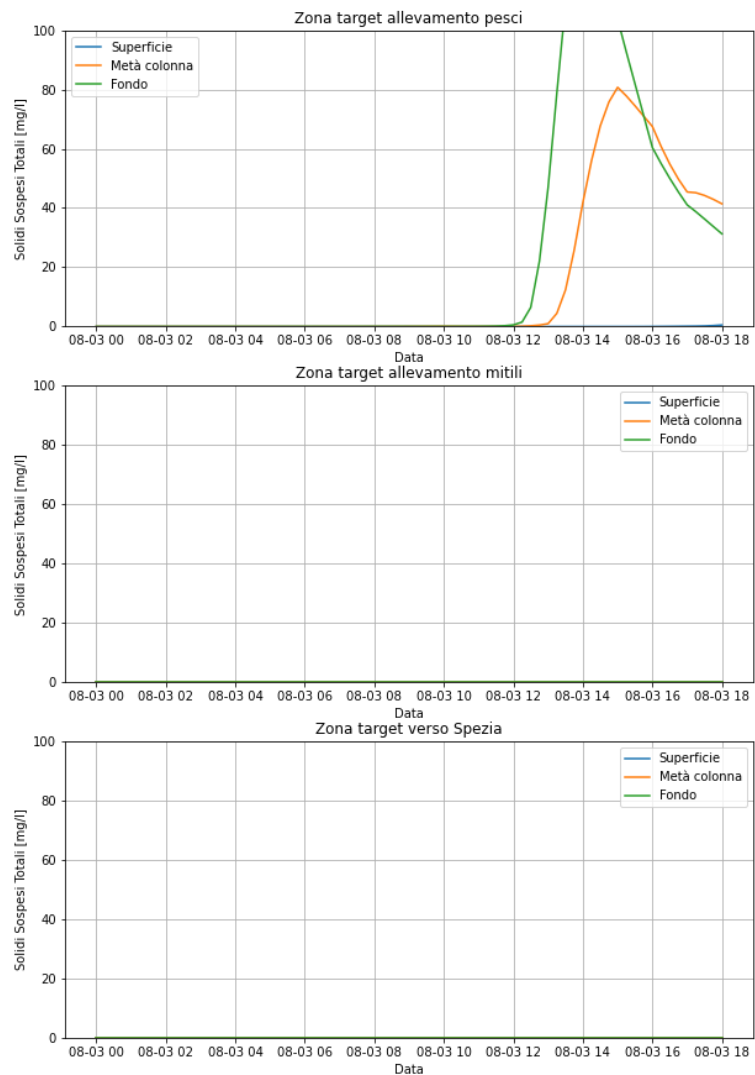
Simulazione_01_MT-idr-aug-area1



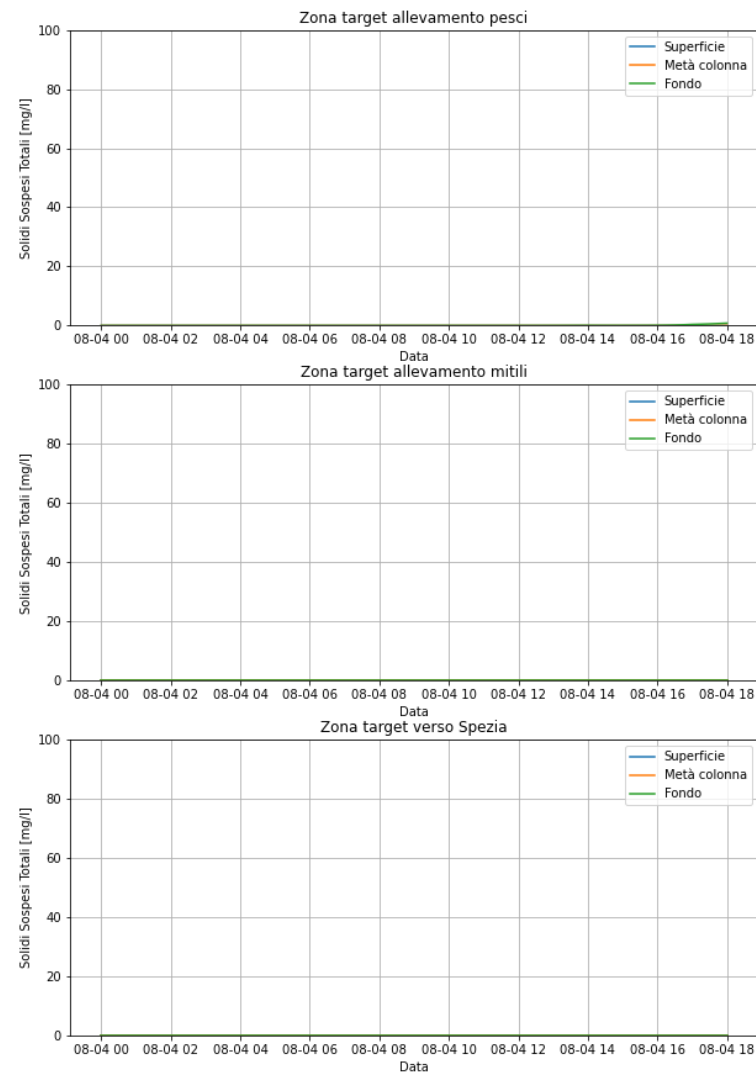
Simulazione_02_MT-idr-aug-area1



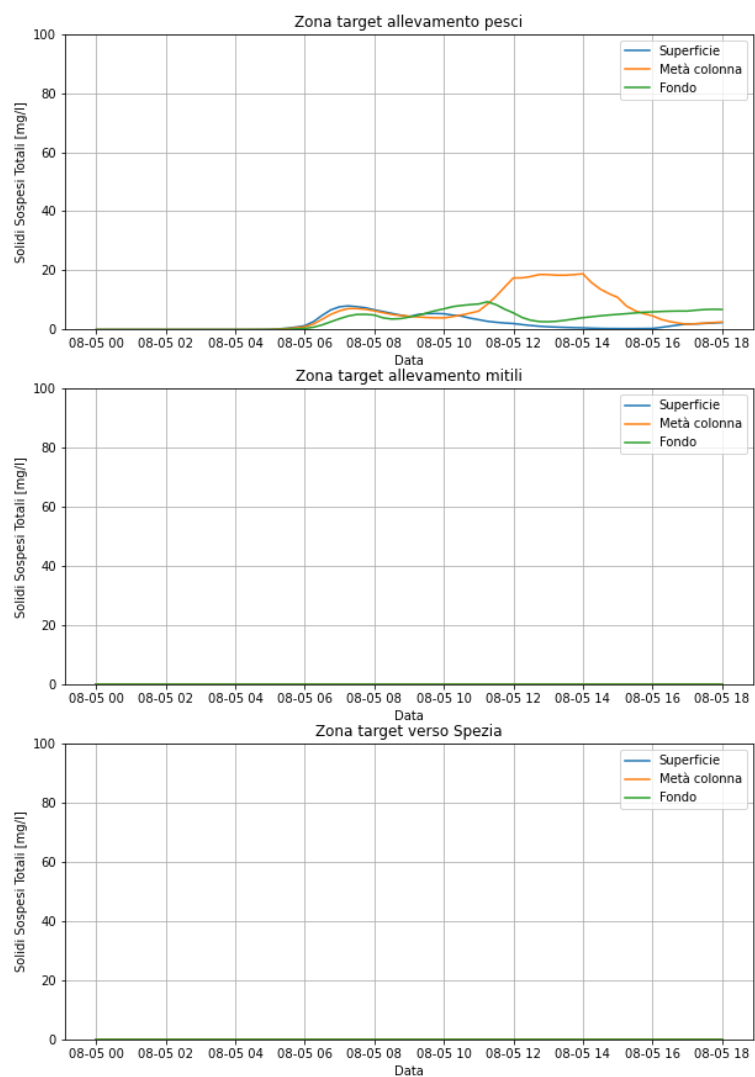
Simulazione_03_MT-idr-aug-area1



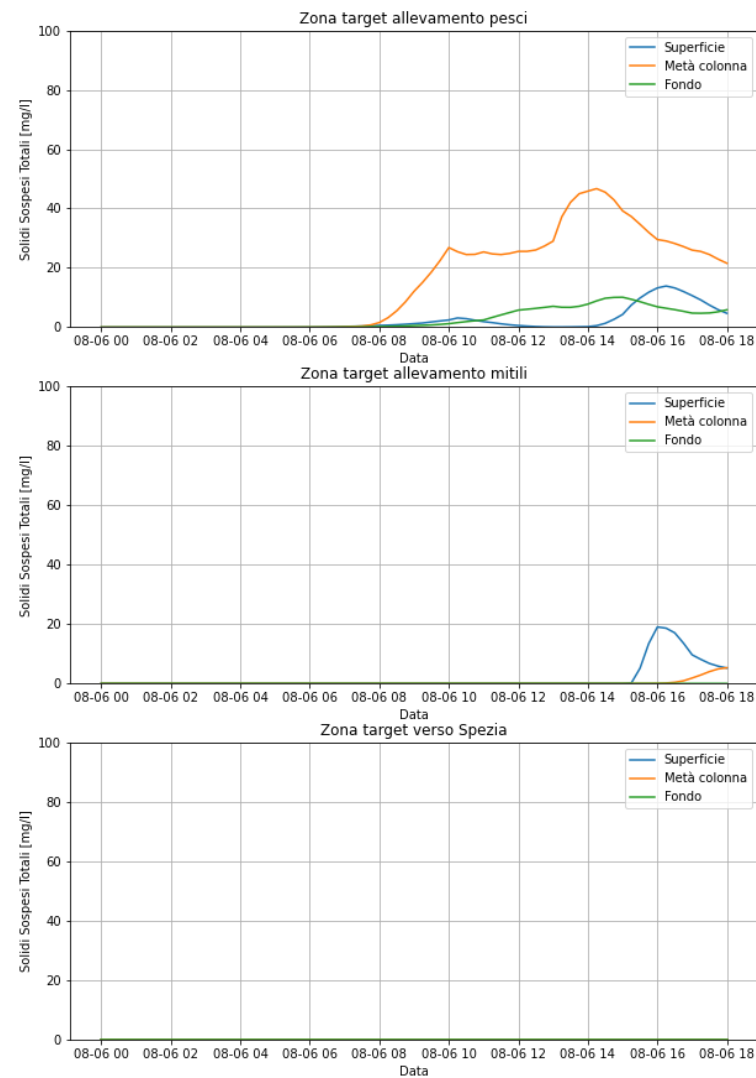
Simulazione_04_MT-idr-aug-area1



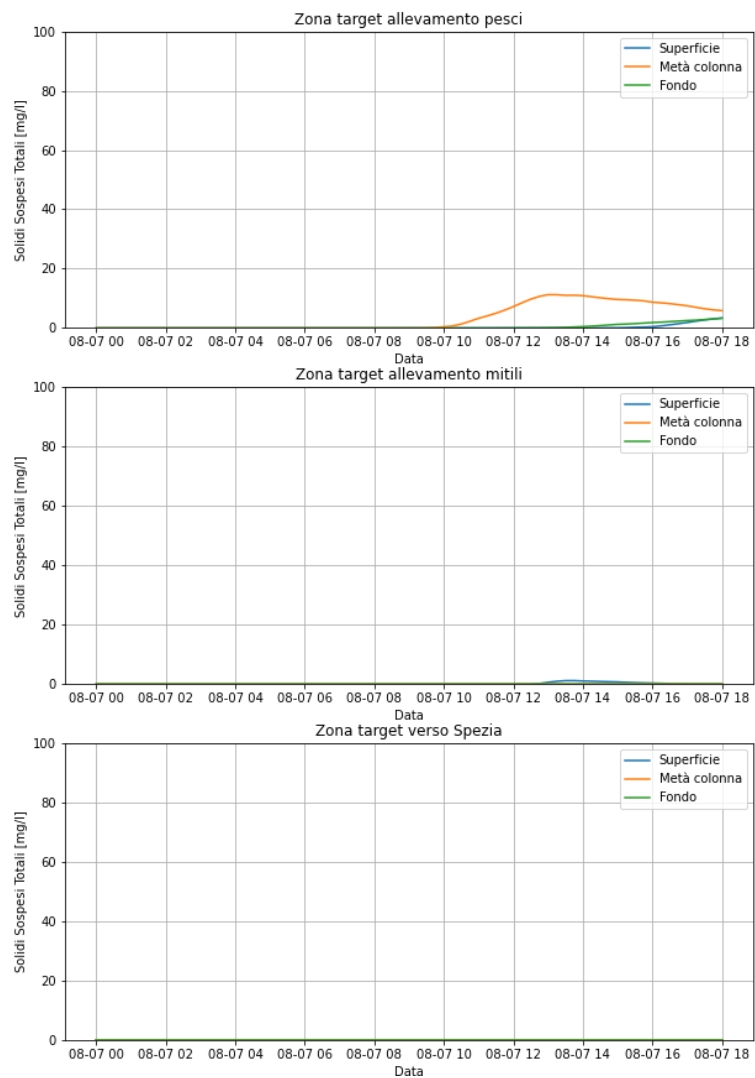
Simulazione_05_MT-idr-aug-area1



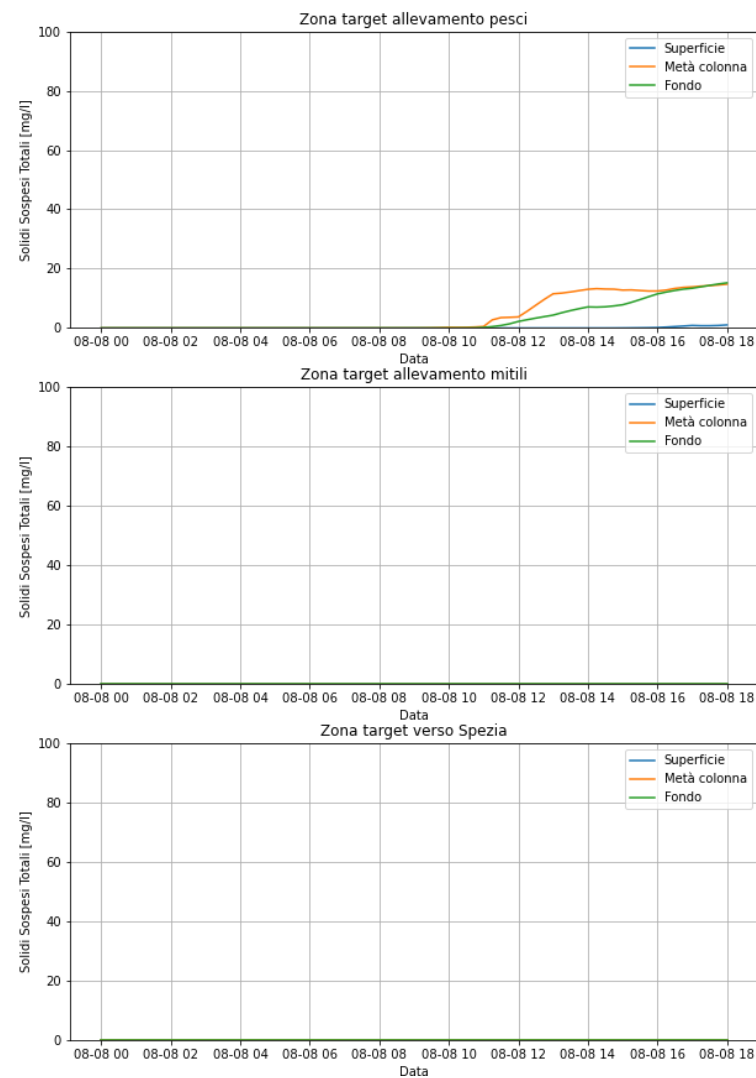
Simulazione_06_MT-idr-aug-area1



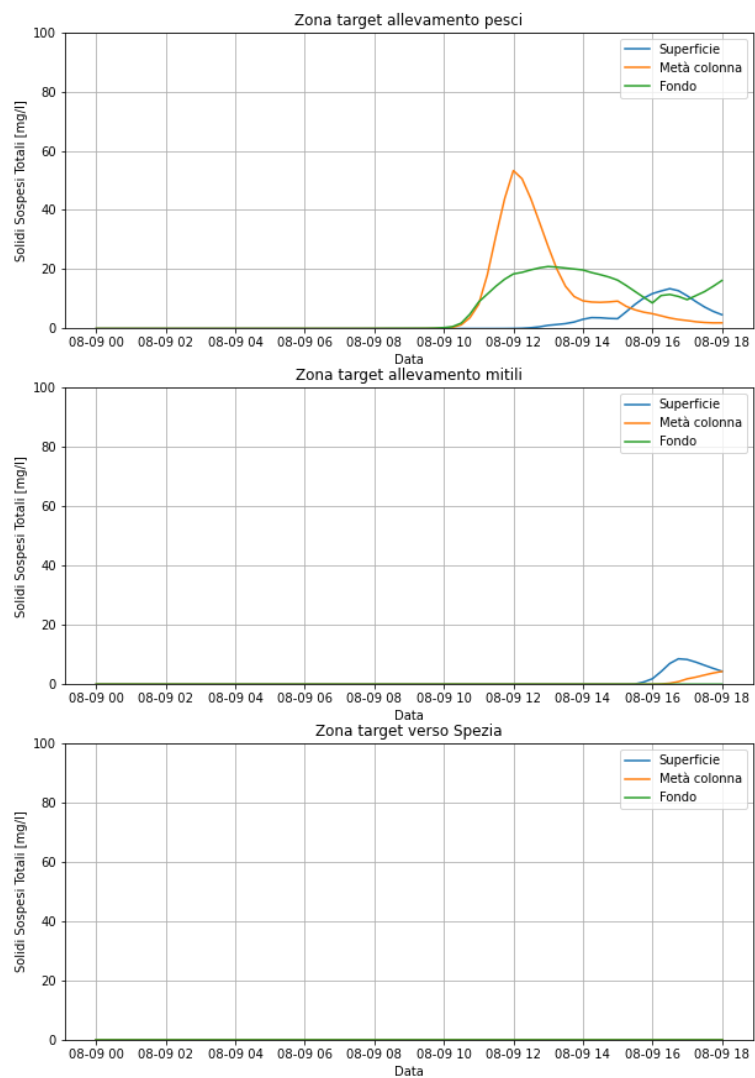
Simulazione_07_MT-idr-aug-area1



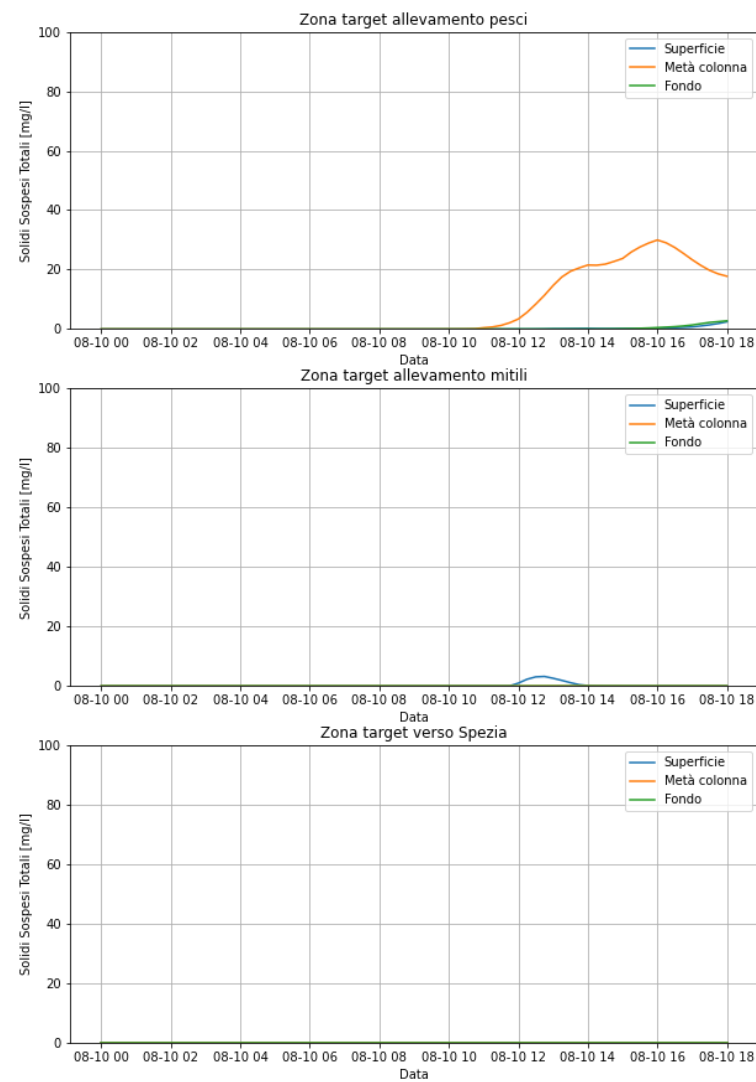
Simulazione_08_MT-idr-aug-area1



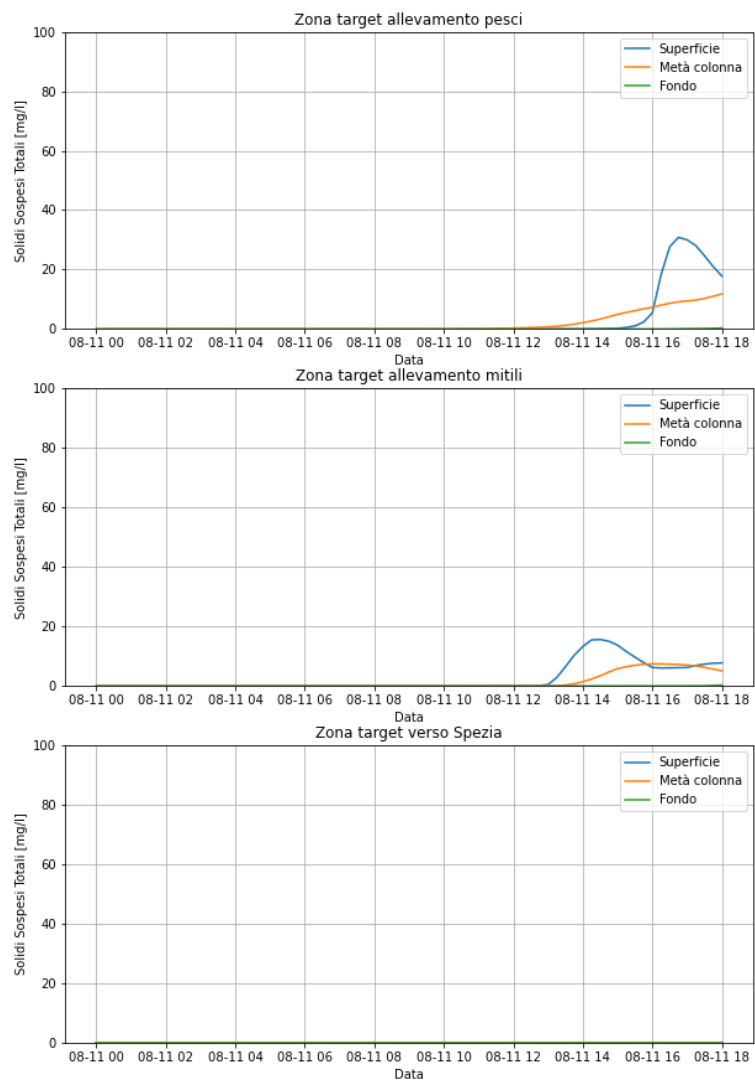
Simulazione_09_MT-idr-aug-area1



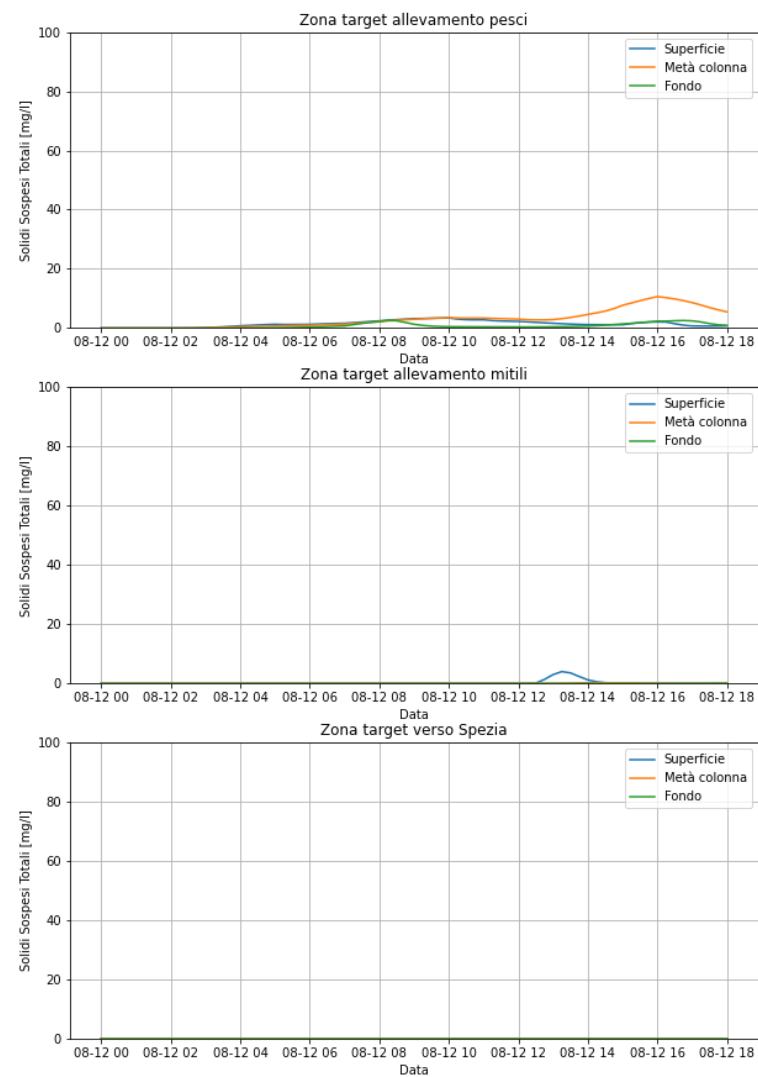
Simulazione_10_MT-idr-aug-area1



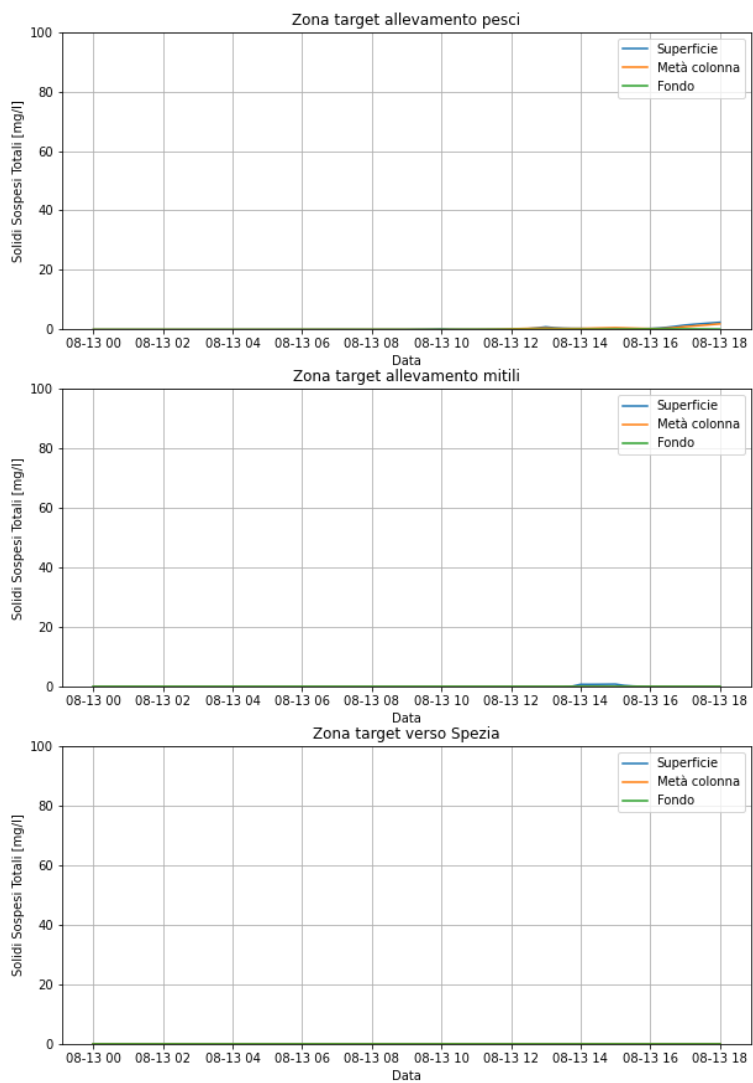
Simulazione_11_MT-idr-aug-area1



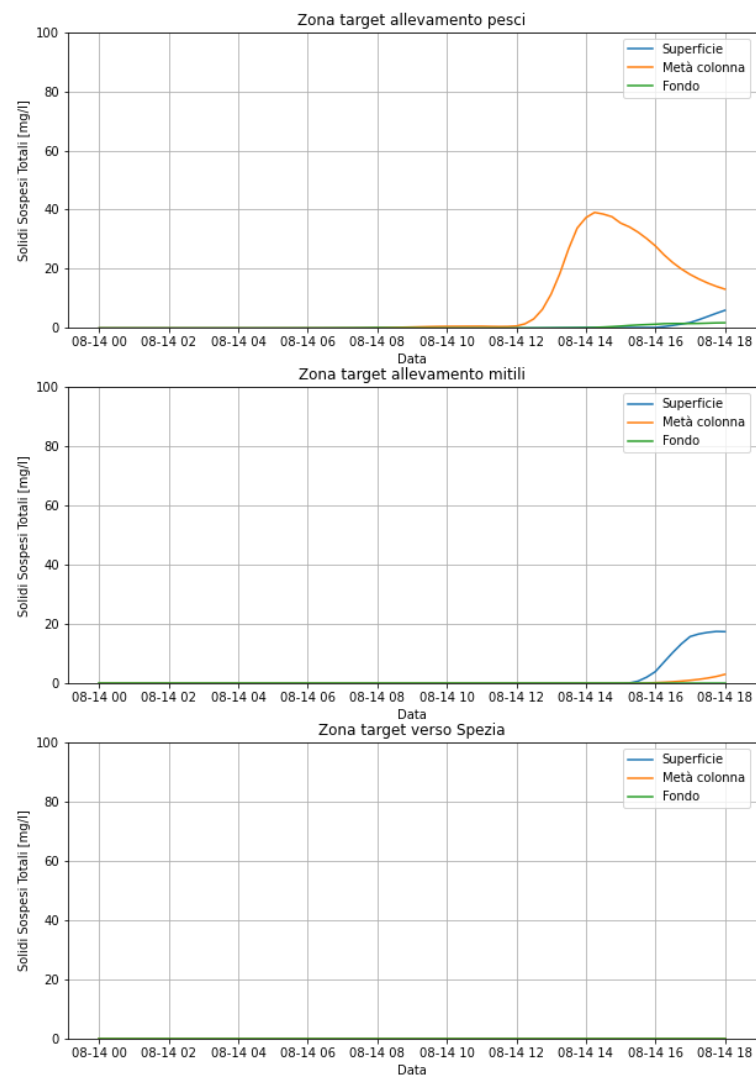
Simulazione_12_MT-idr-aug-area1



Simulazione_13_MT-idr-aug-area1

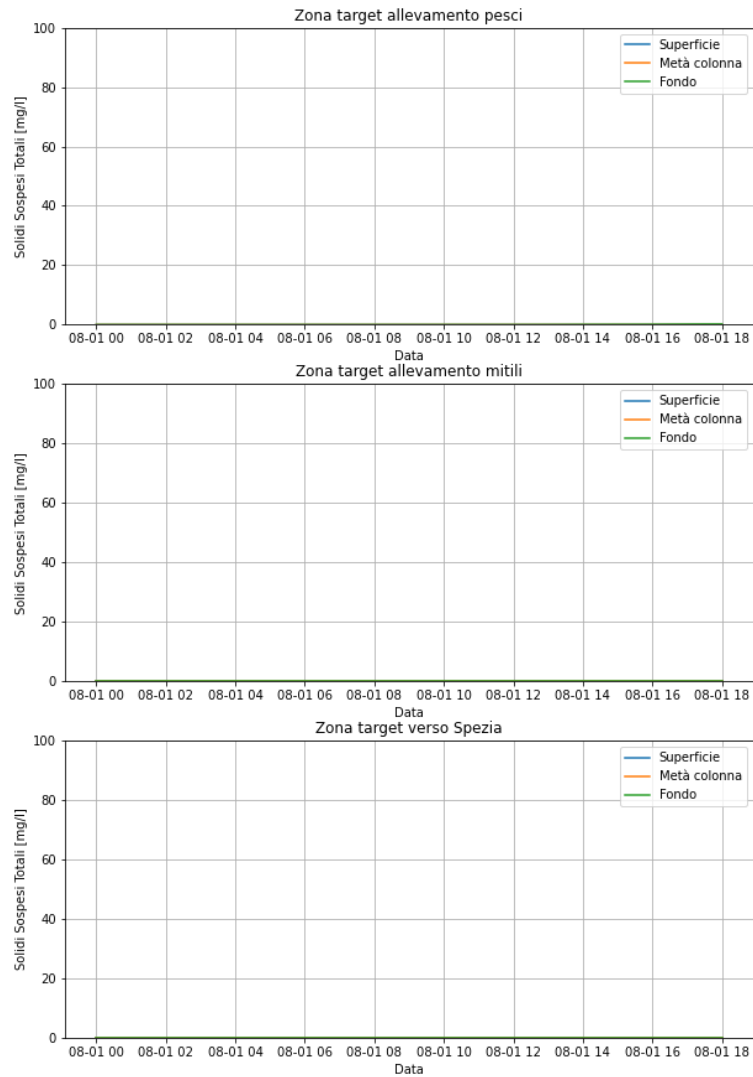


Simulazione_14_MT-idr-aug-area1

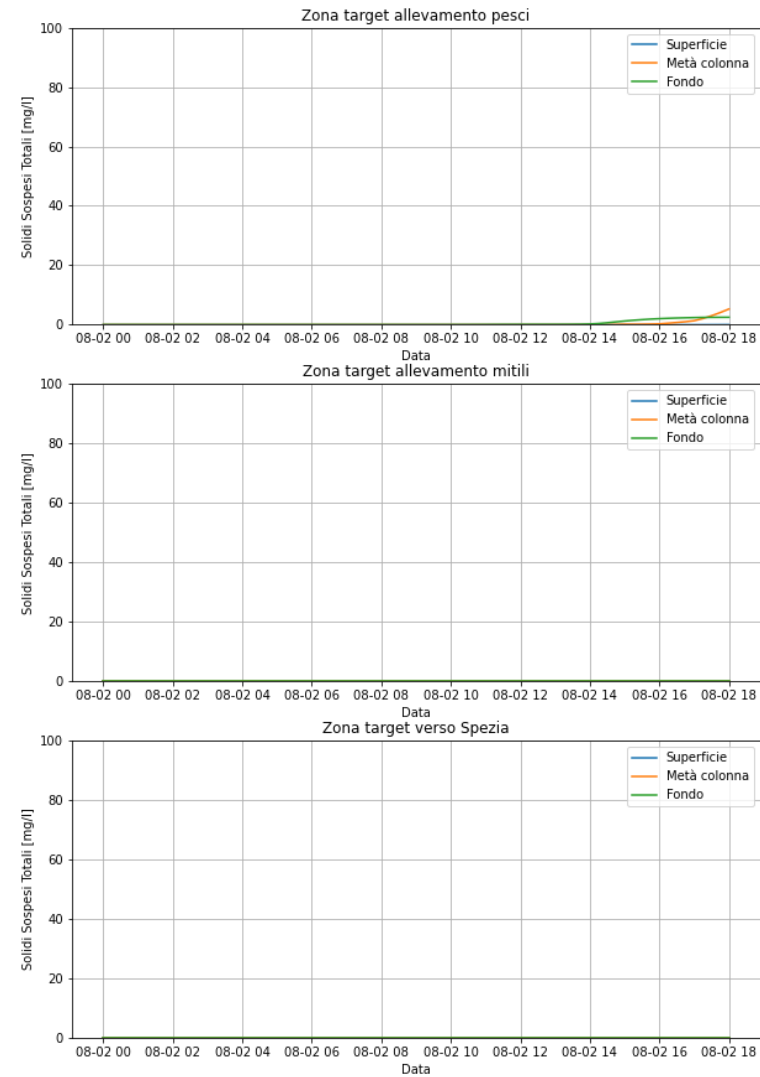


PERIODO ESTIVO – SORBONA – AREA 2

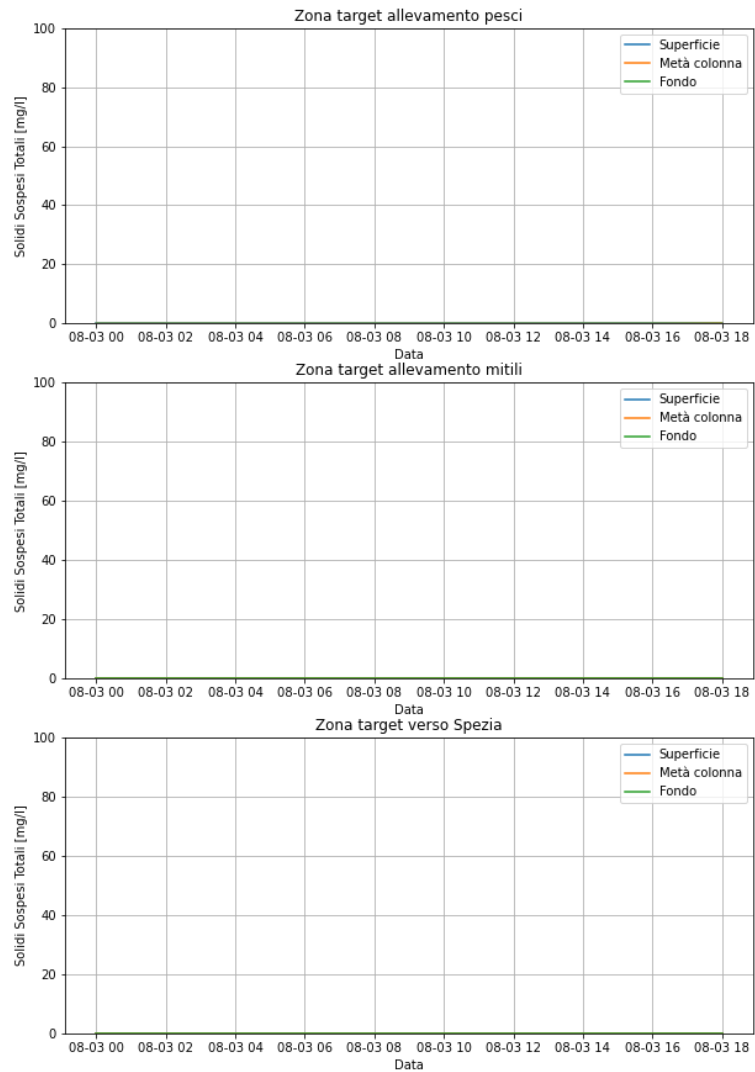
Simulazione_01_MT-idr-aug-area2



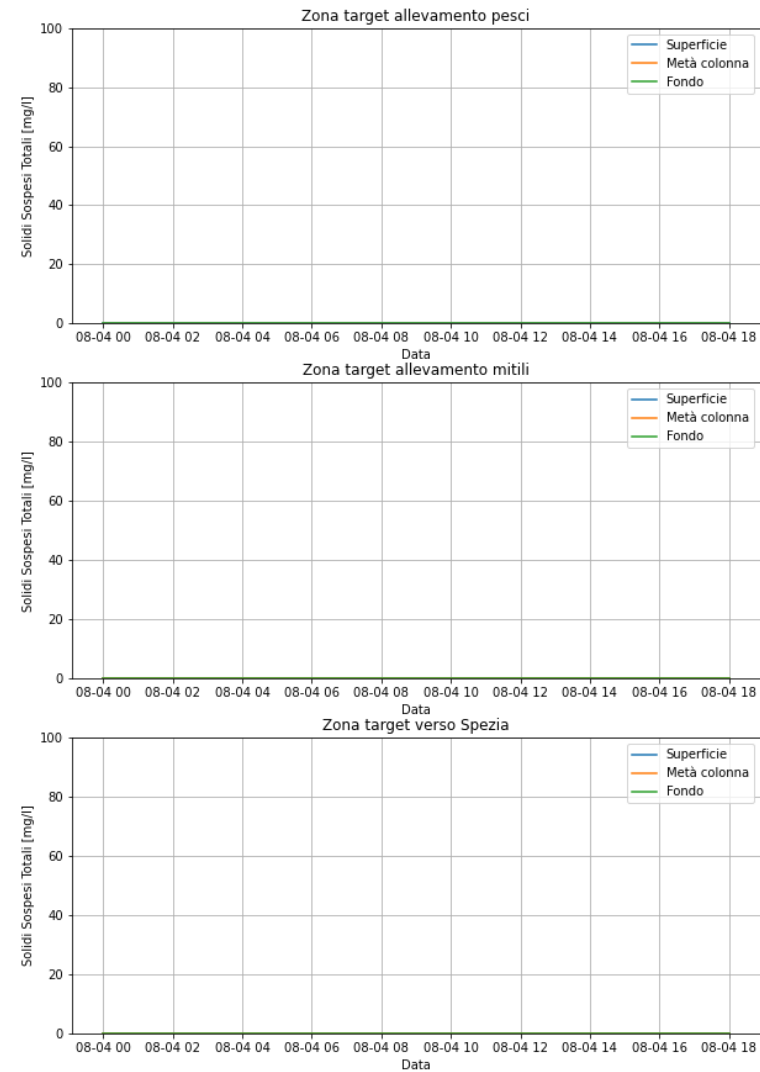
Simulazione_02_MT-idr-aug-area2



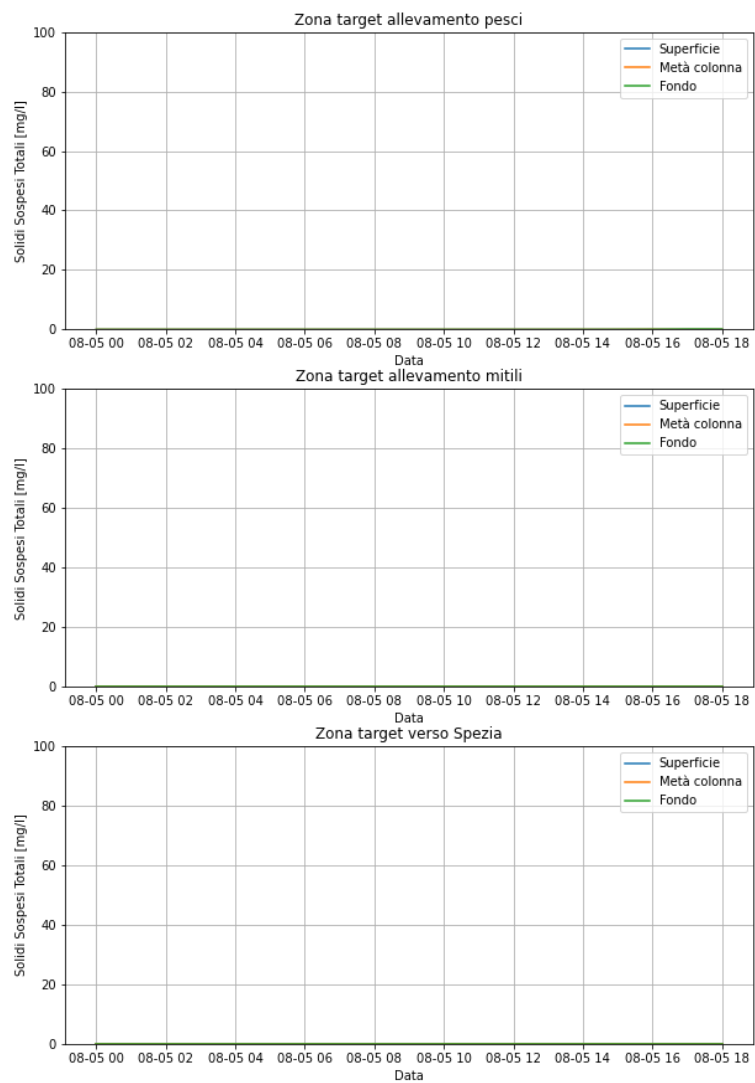
Simulazione_03_MT-idr-aug-area2



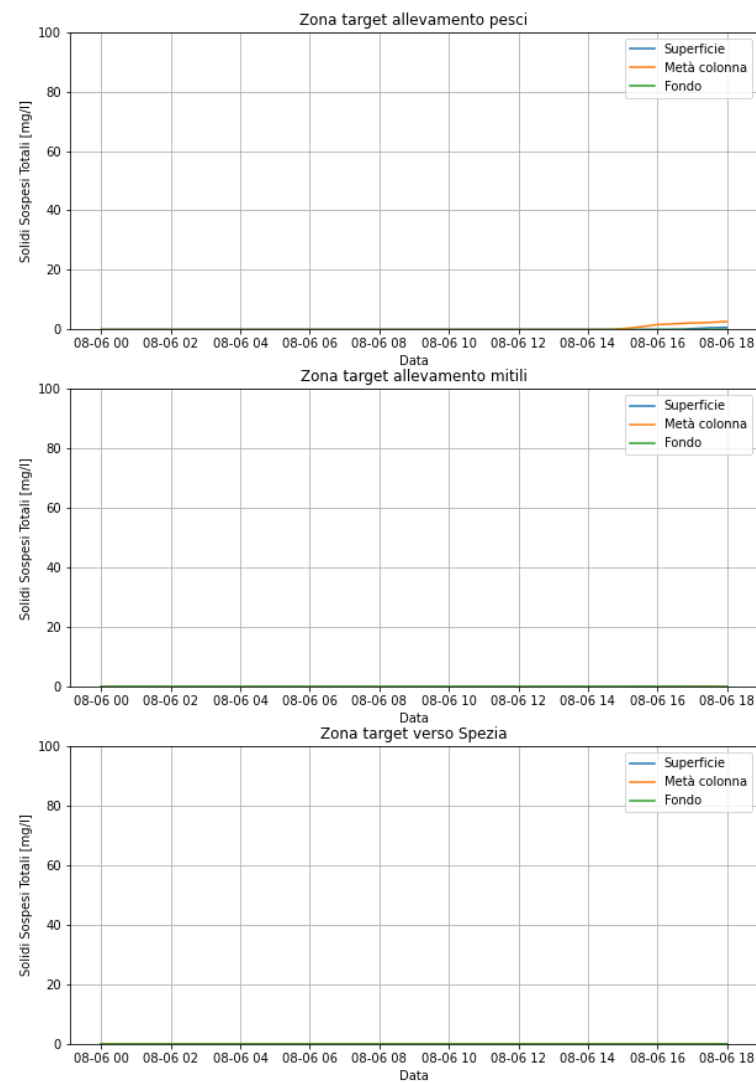
Simulazione_04_MT-idr-aug-area2



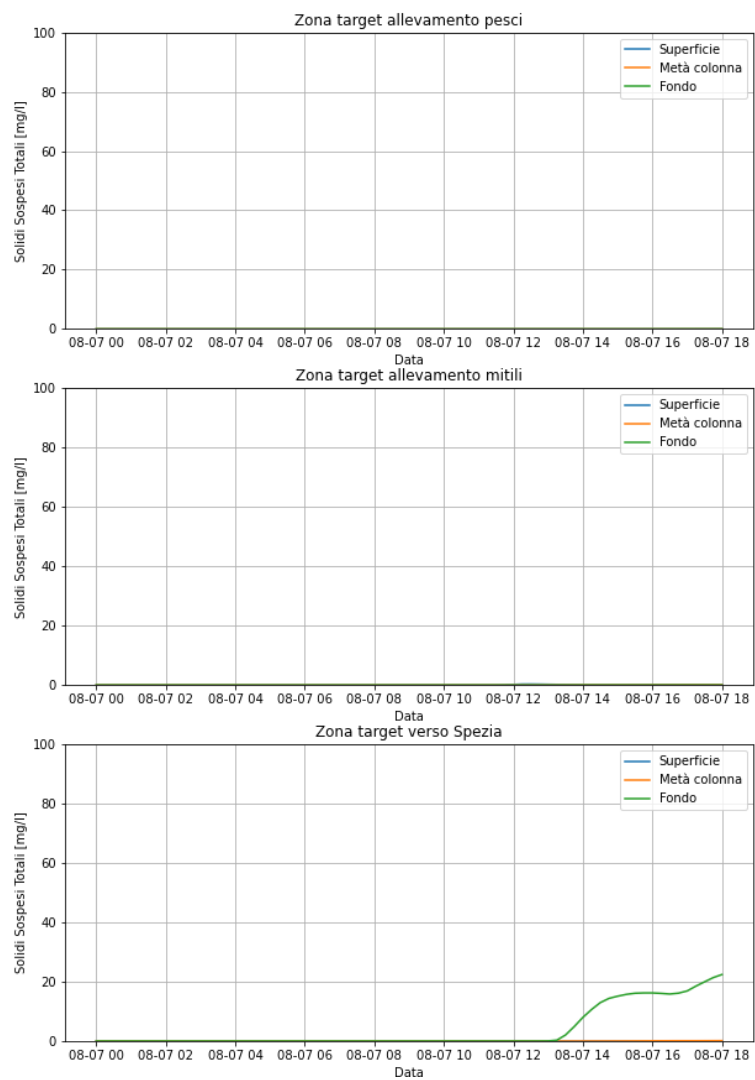
Simulazione_05__MT-idr-aug-area2



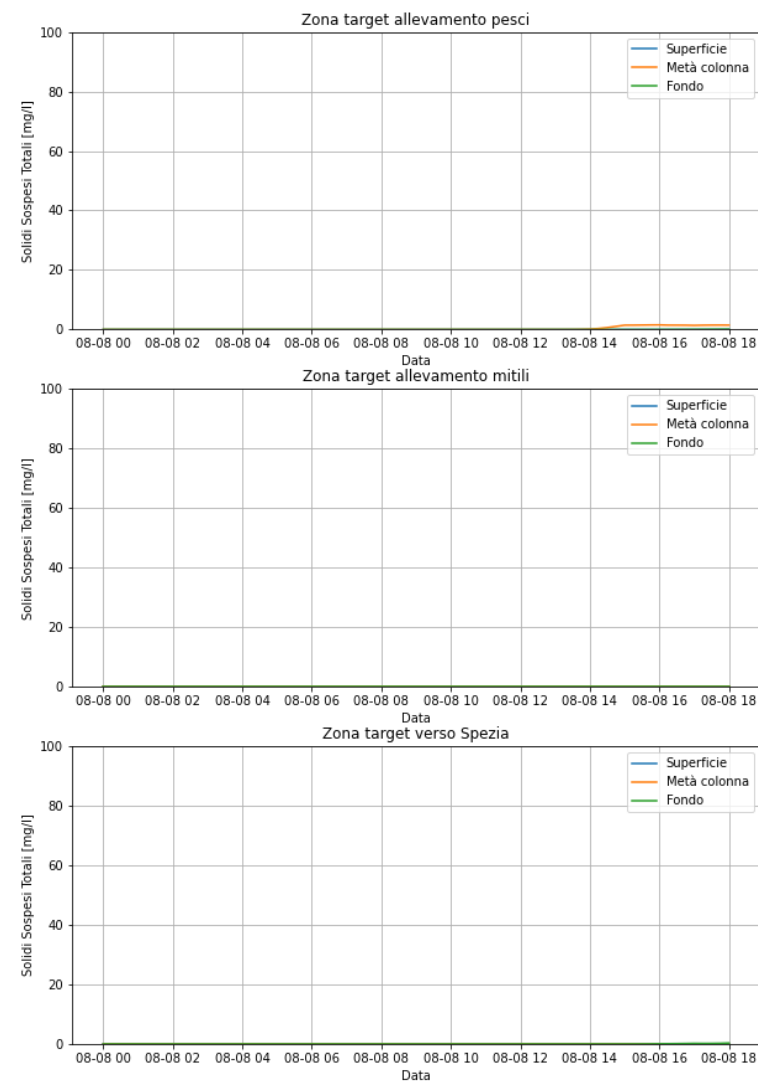
Simulazione_06__MT-idr-aug-area2



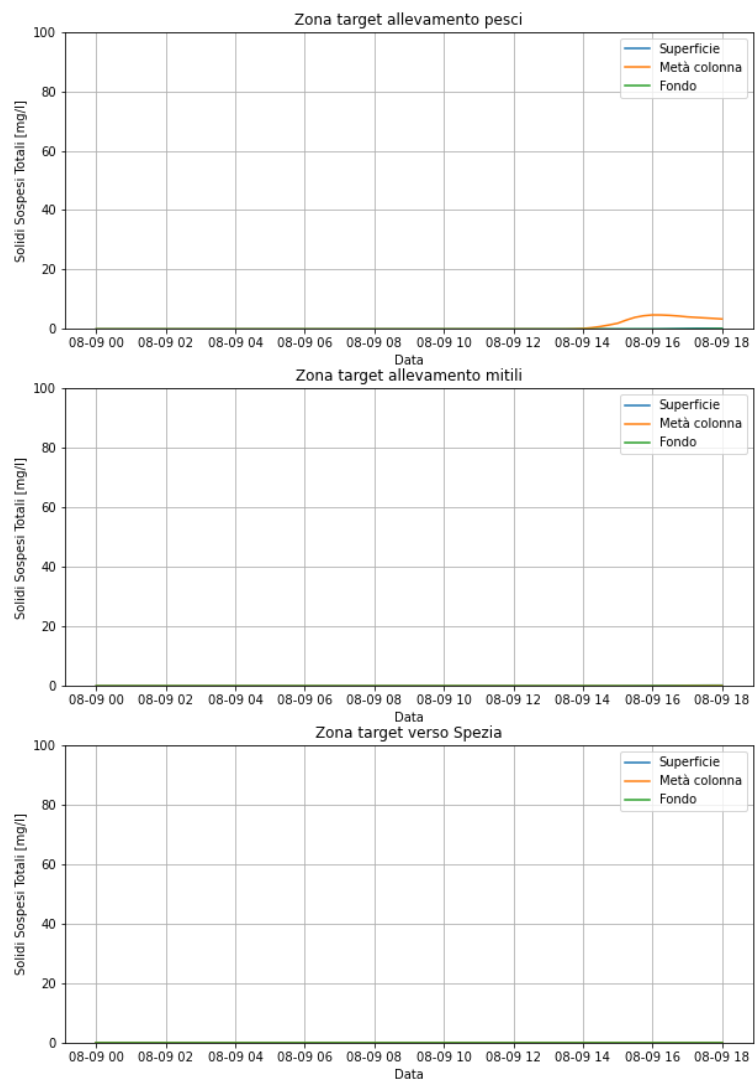
Simulazione_07_MT-idr-aug-area2



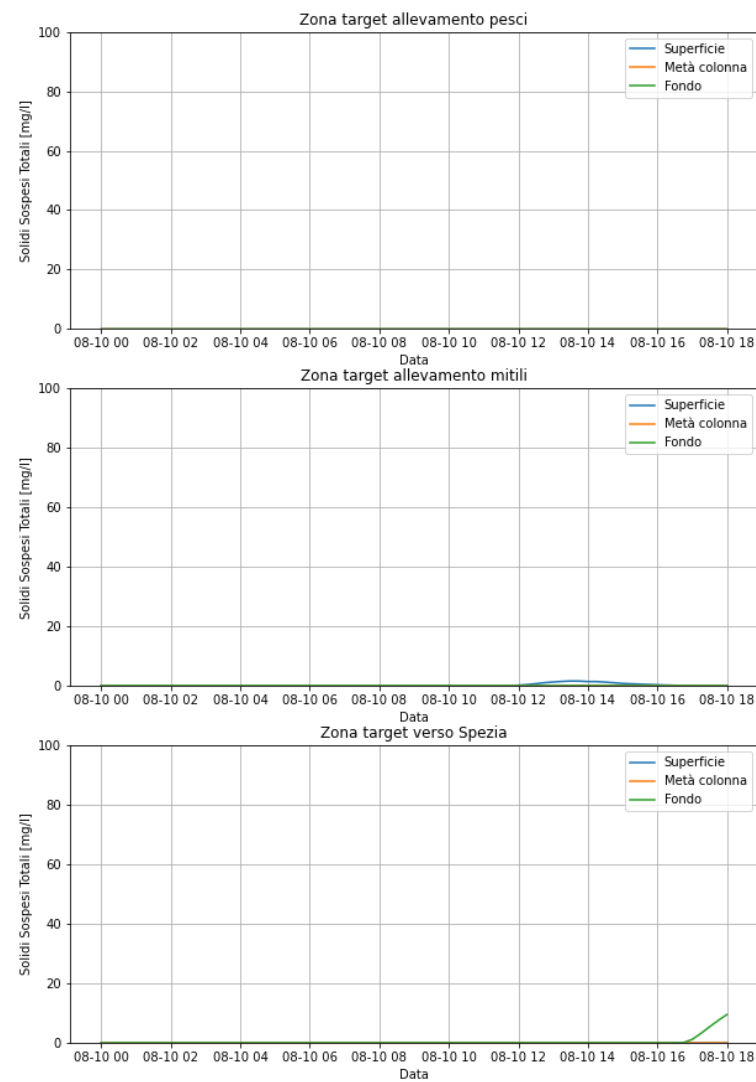
Simulazione_08_MT-idr-aug-area2



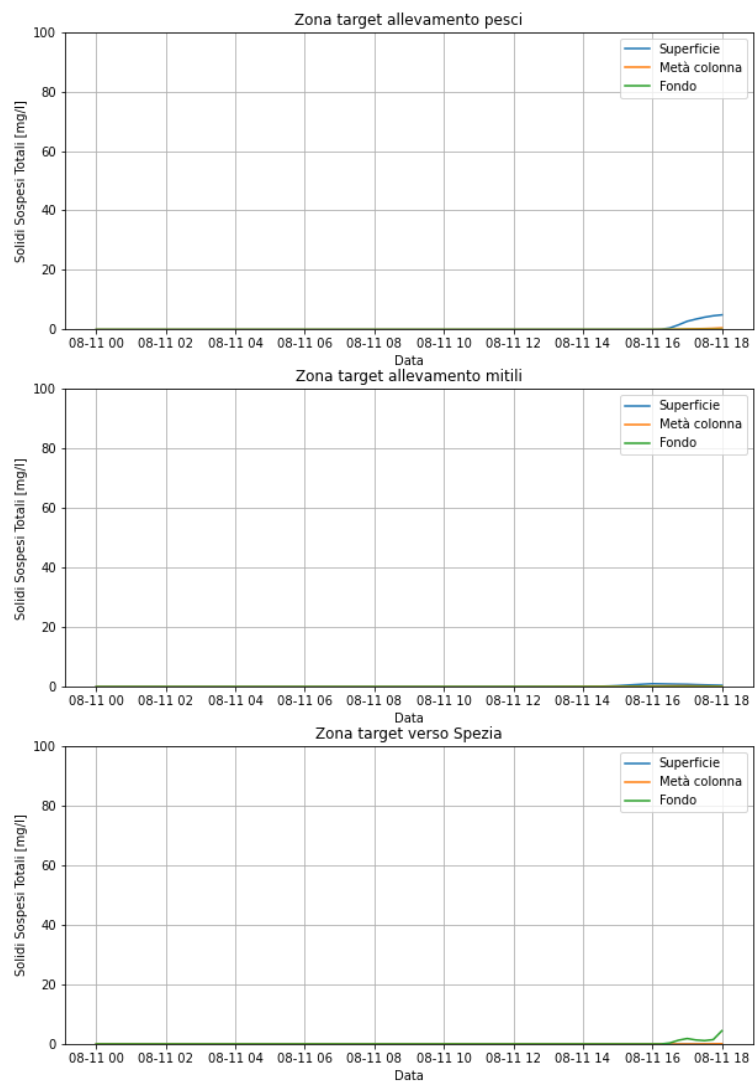
Simulazione_09__MT-idr-aug-area2



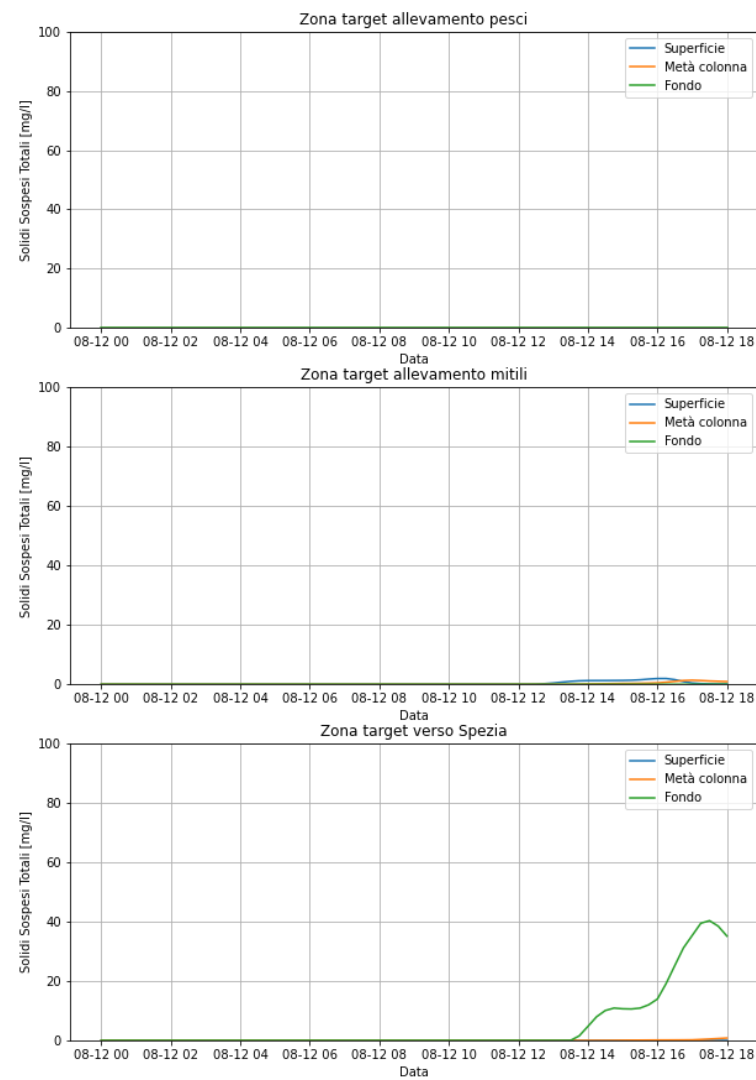
Simulazione_10__MT-idr-aug-area2



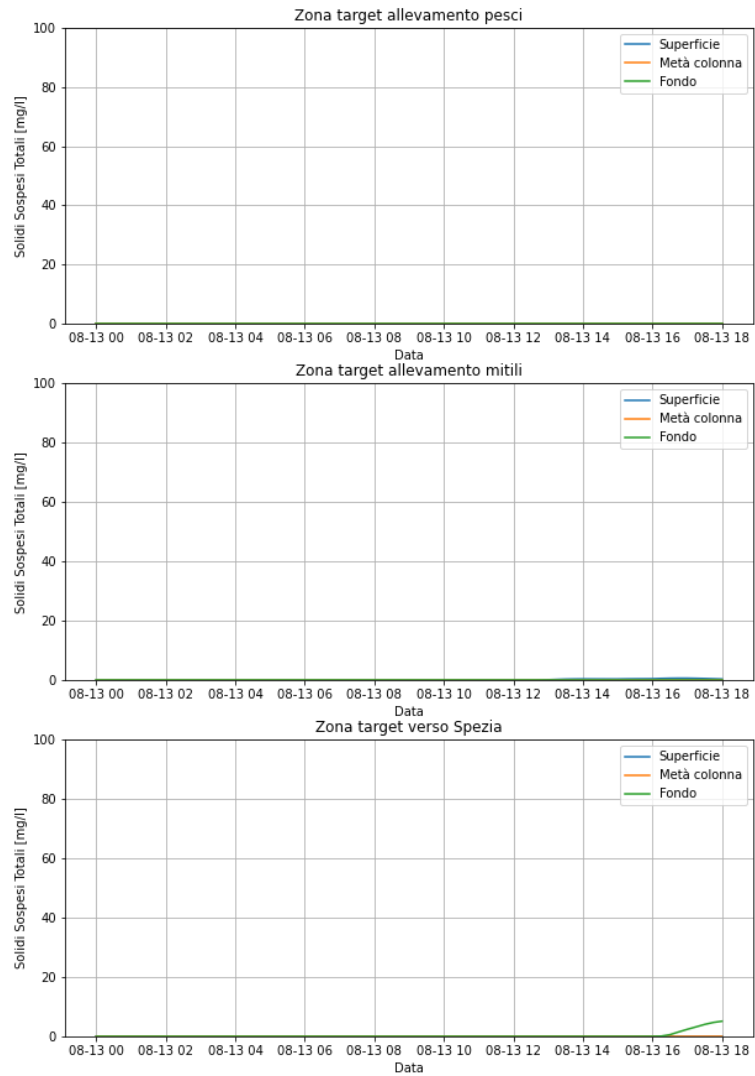
Simulazione_11_MT-idr-aug-area2



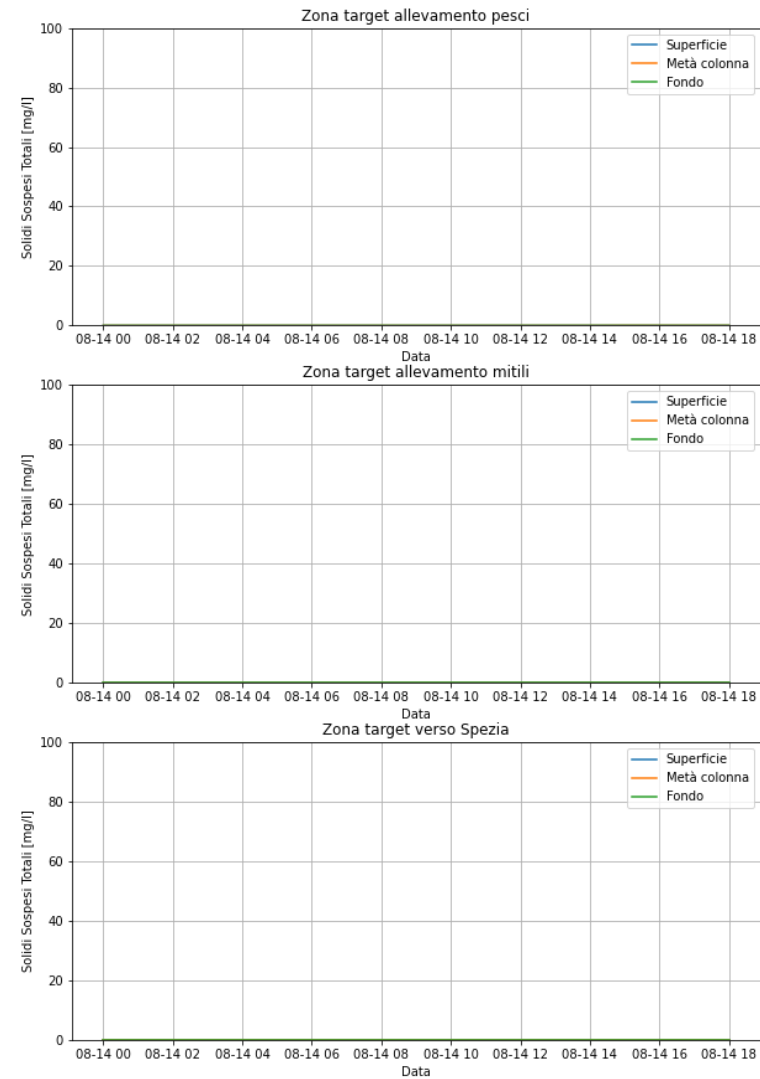
Simulazione_12_MT-idr-aug-area2



Simulazione_13_MT-idr-aug-area2

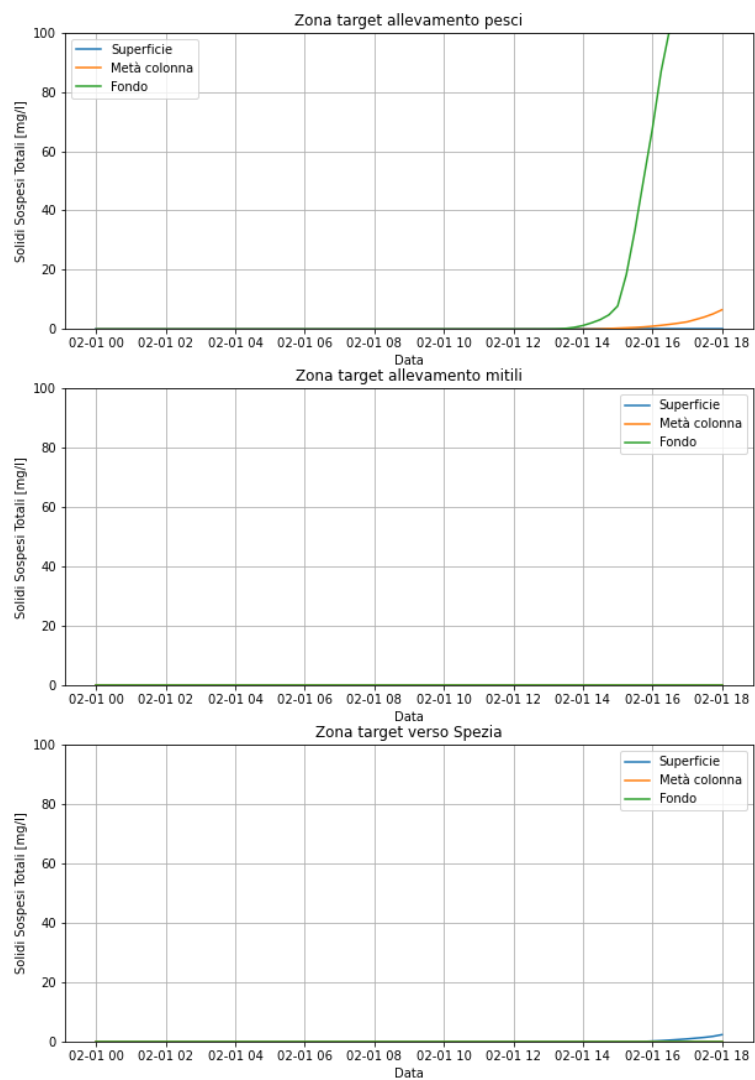


Simulazione_14_MT-idr-aug-area2

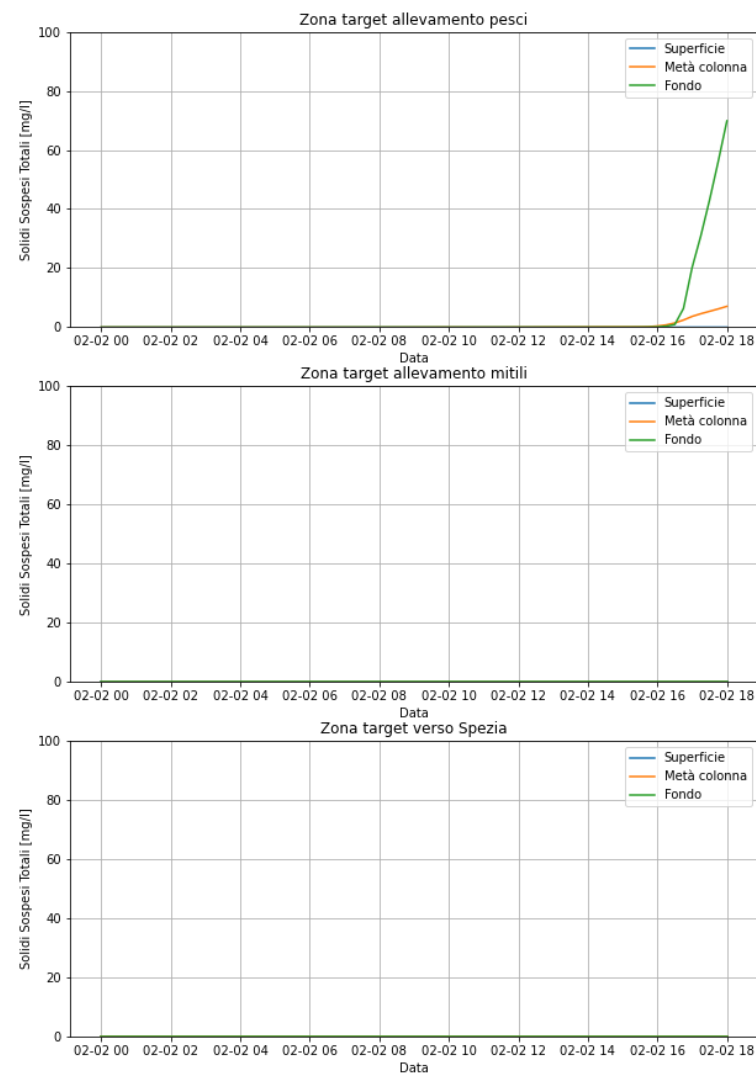


PERIODO INVERNALE – SORBONA – AREA 1

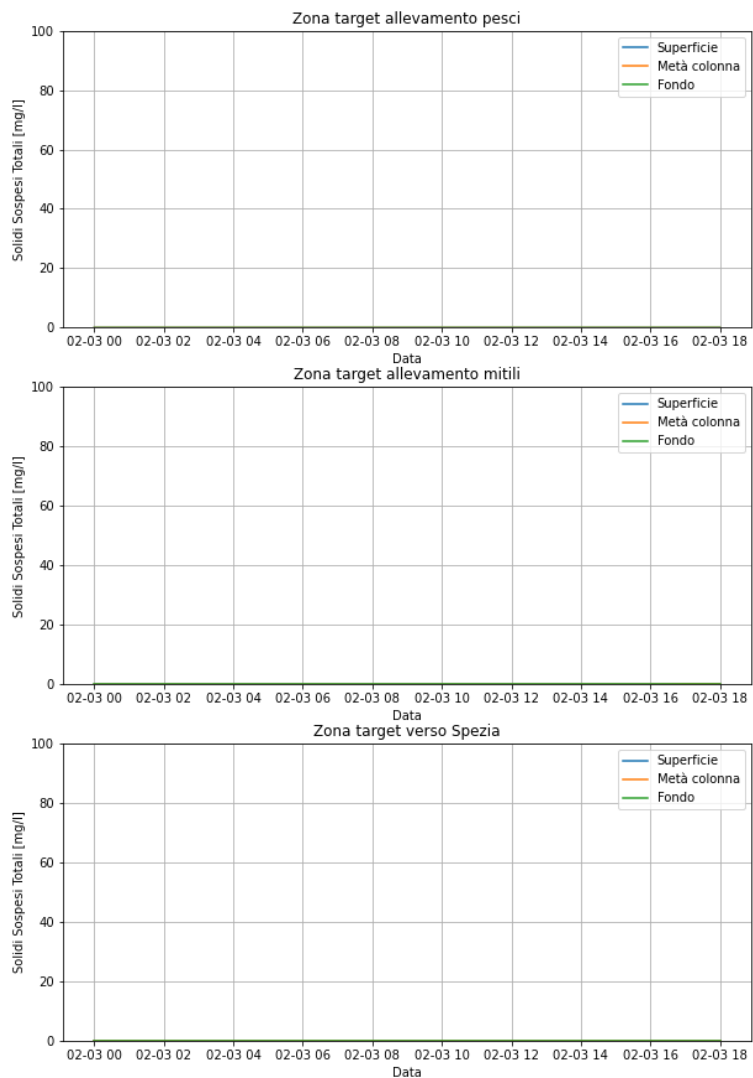
Simulazione_01_MT-idr-feb-area1



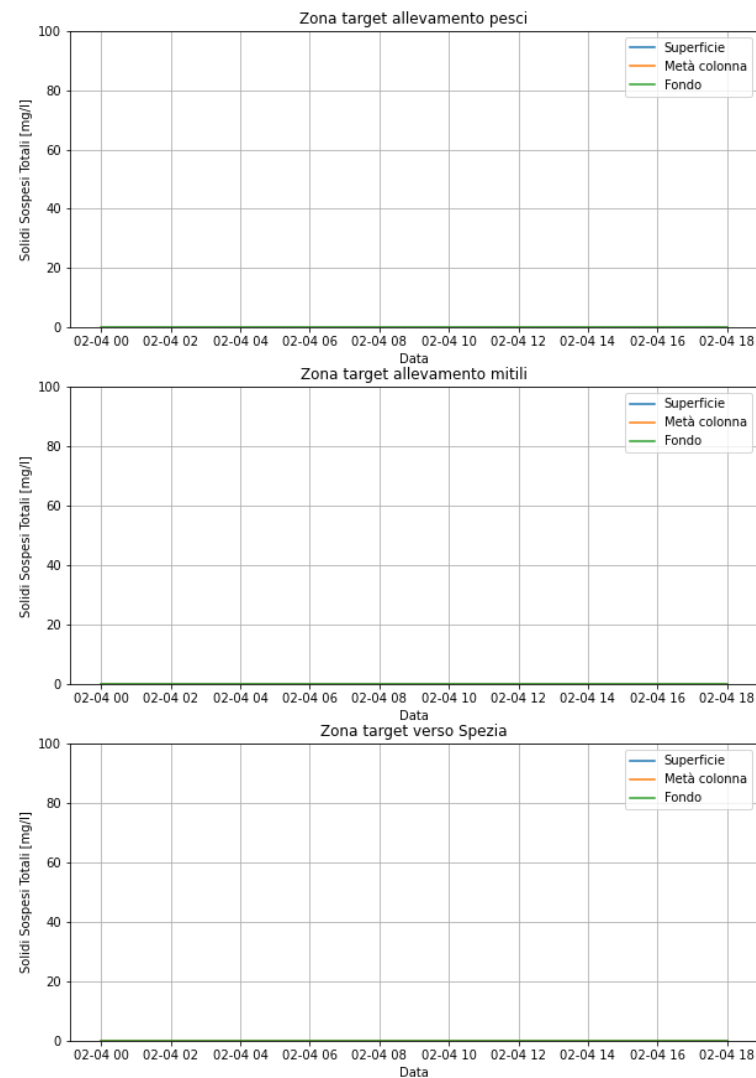
Simulazione_02_MT-idr-feb-area1



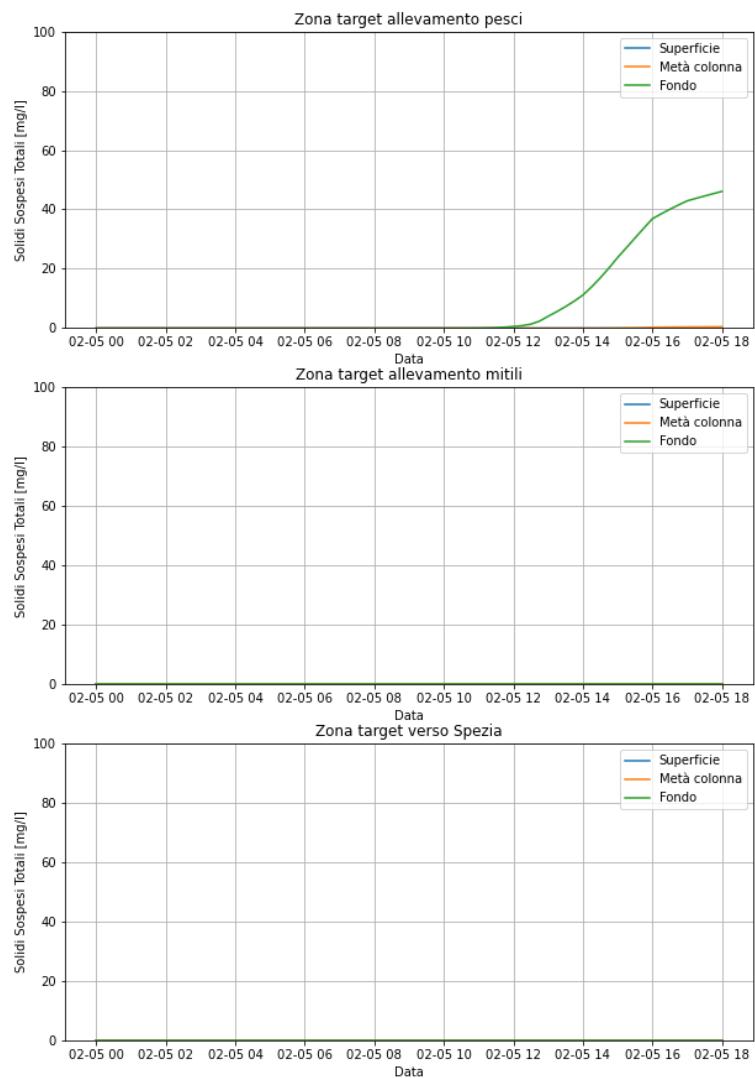
Simulazione_03_MT-idr-feb-area1



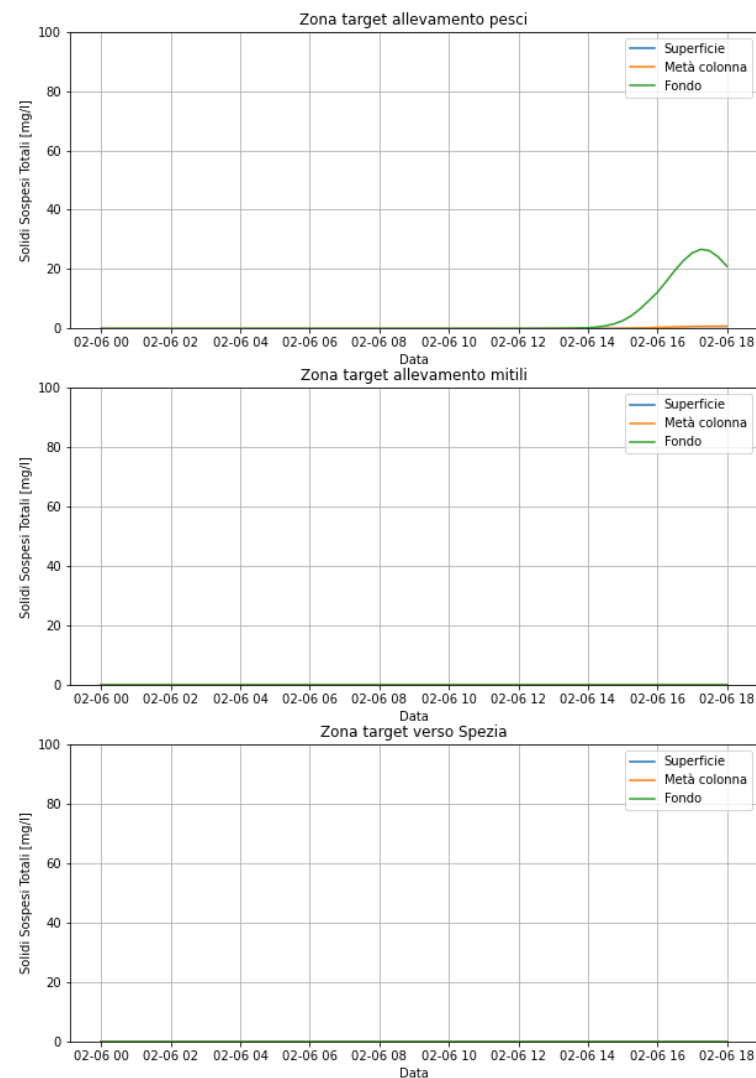
Simulazione_04_MT-idr-feb-area1



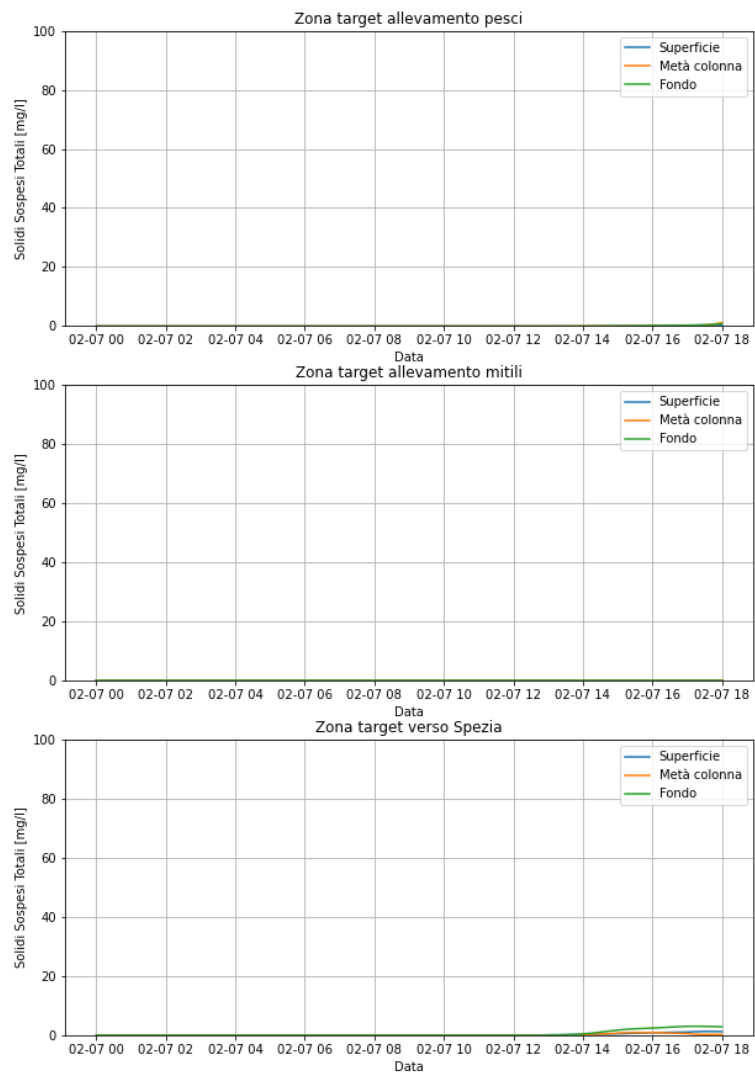
Simulazione_05_MT-idr-feb-area1



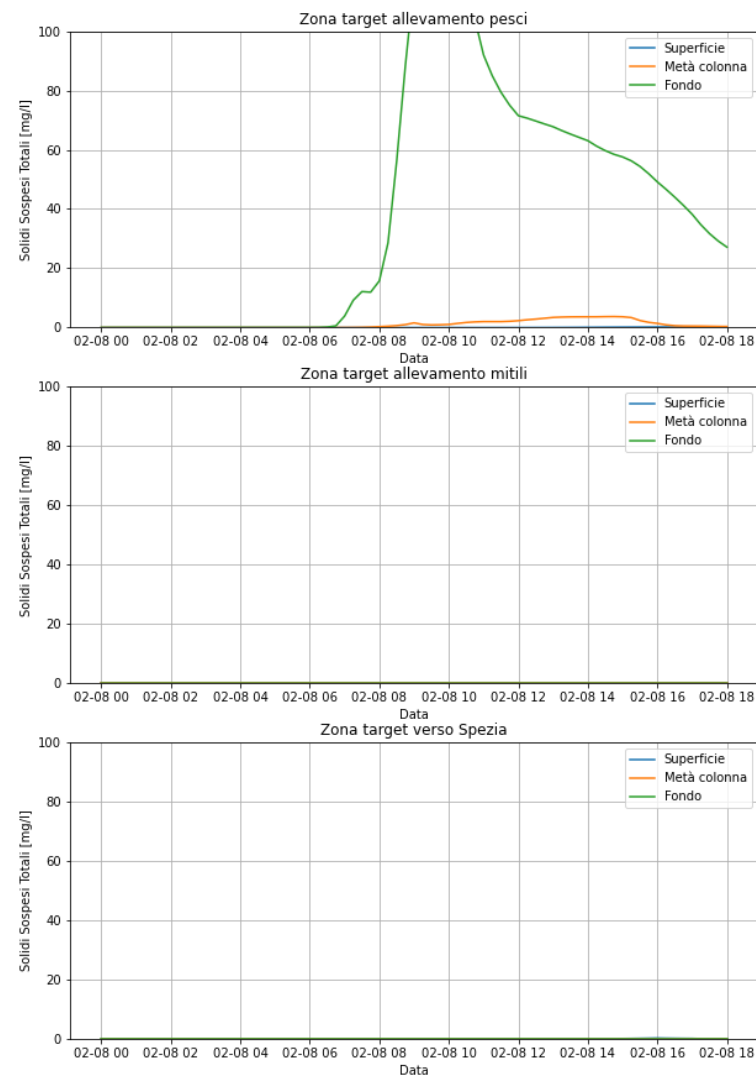
Simulazione_06_MT-idr-feb-area1



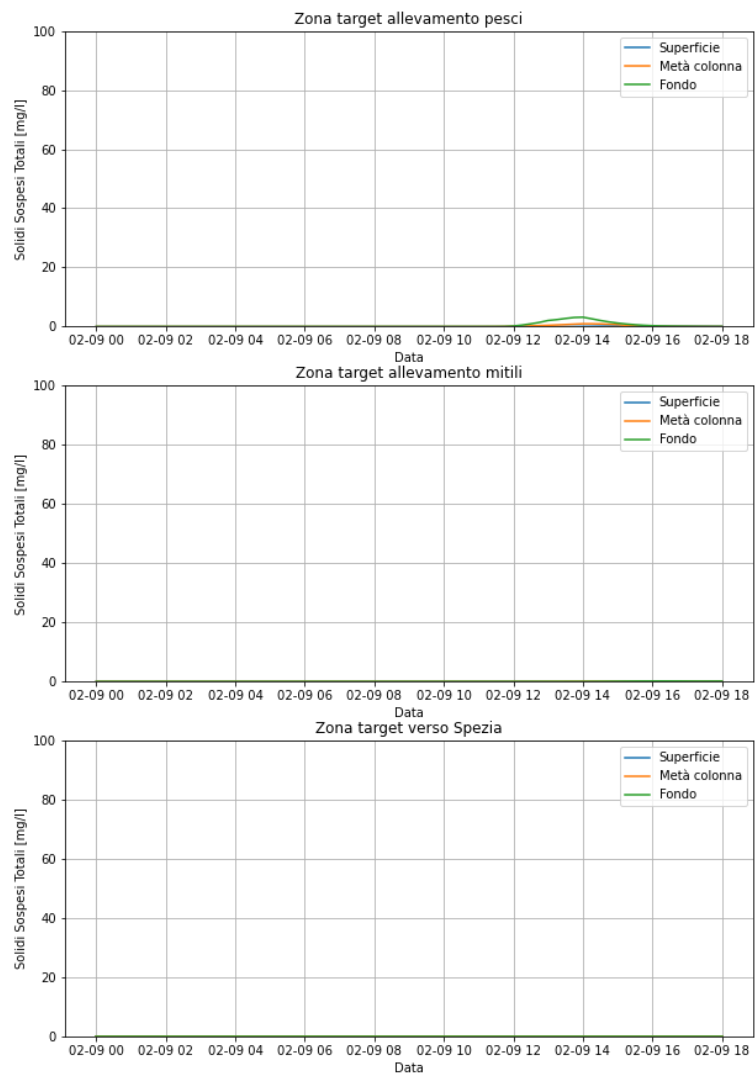
Simulazione_07_MT-idr-feb-area1



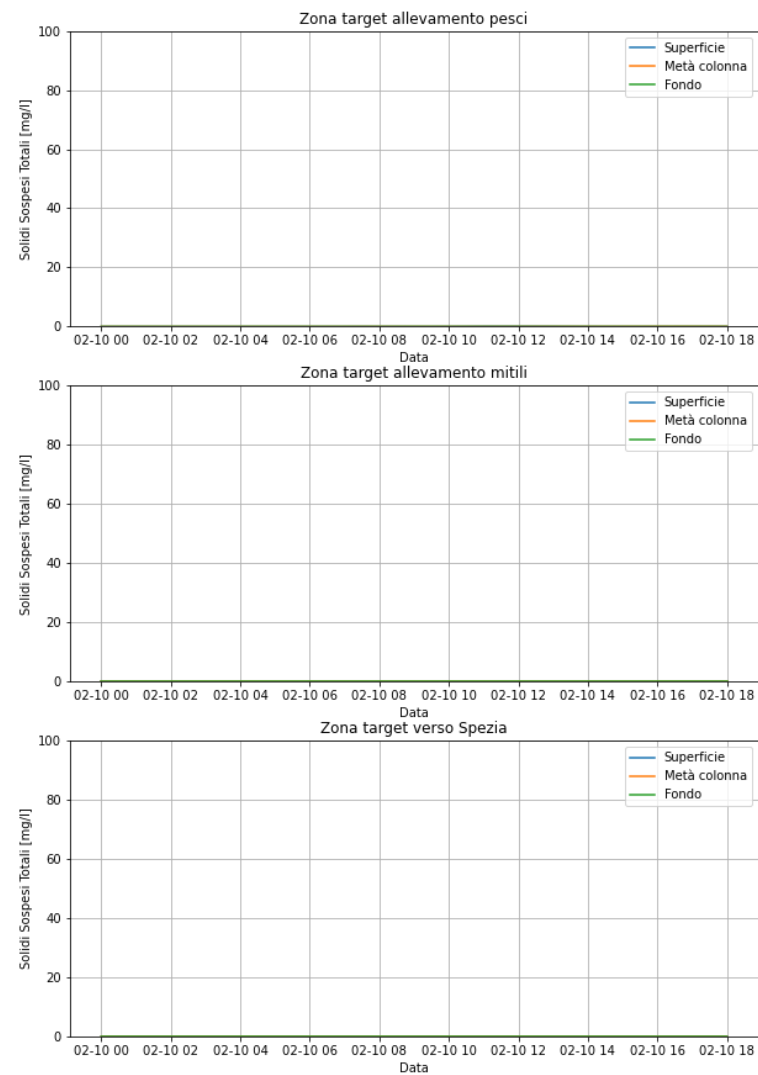
Simulazione_08_MT-idr-feb-area1



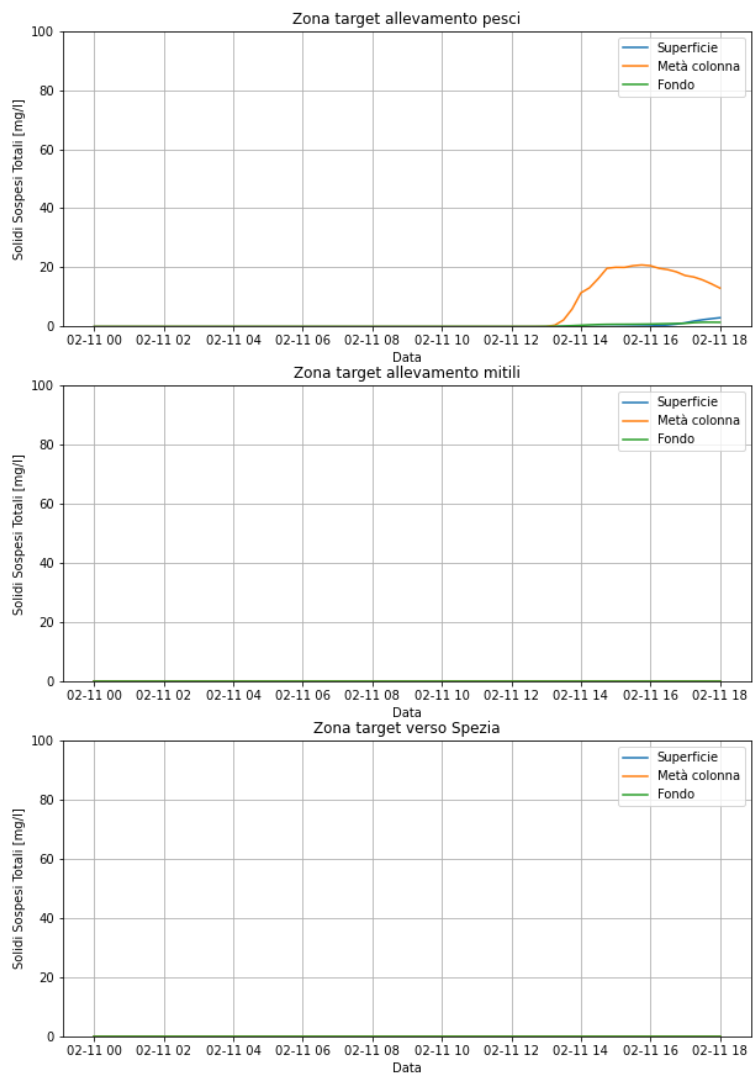
Simulazione_09_MT-idr-feb-area1



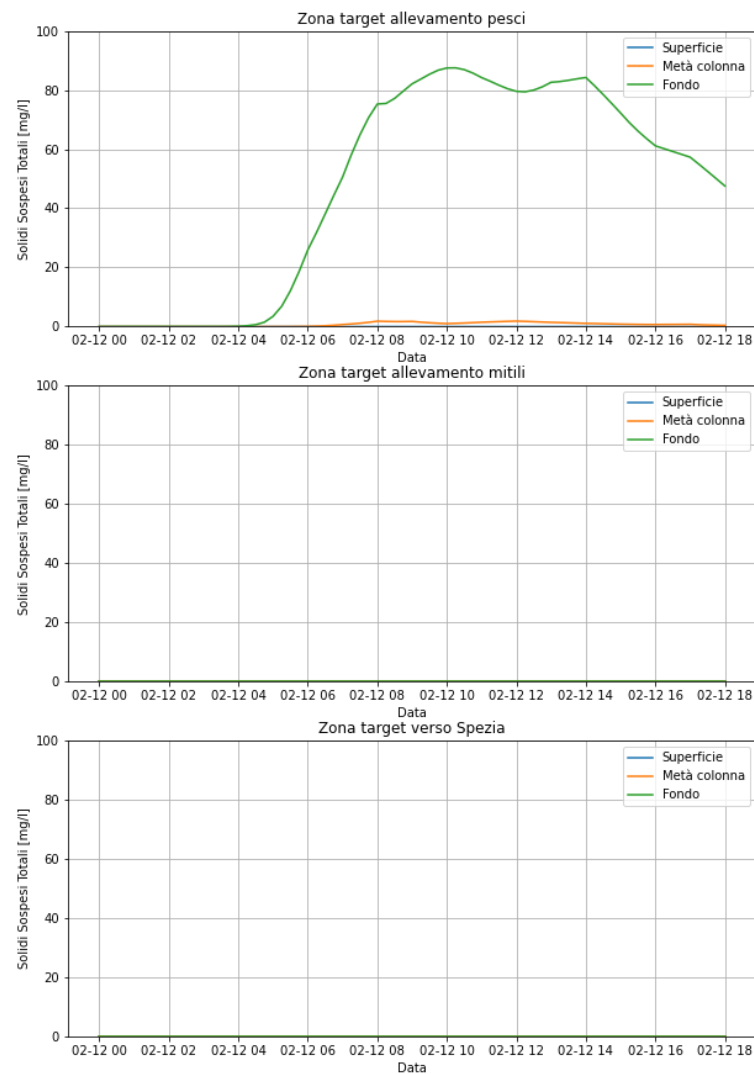
Simulazione_10_MT-idr-feb-area1



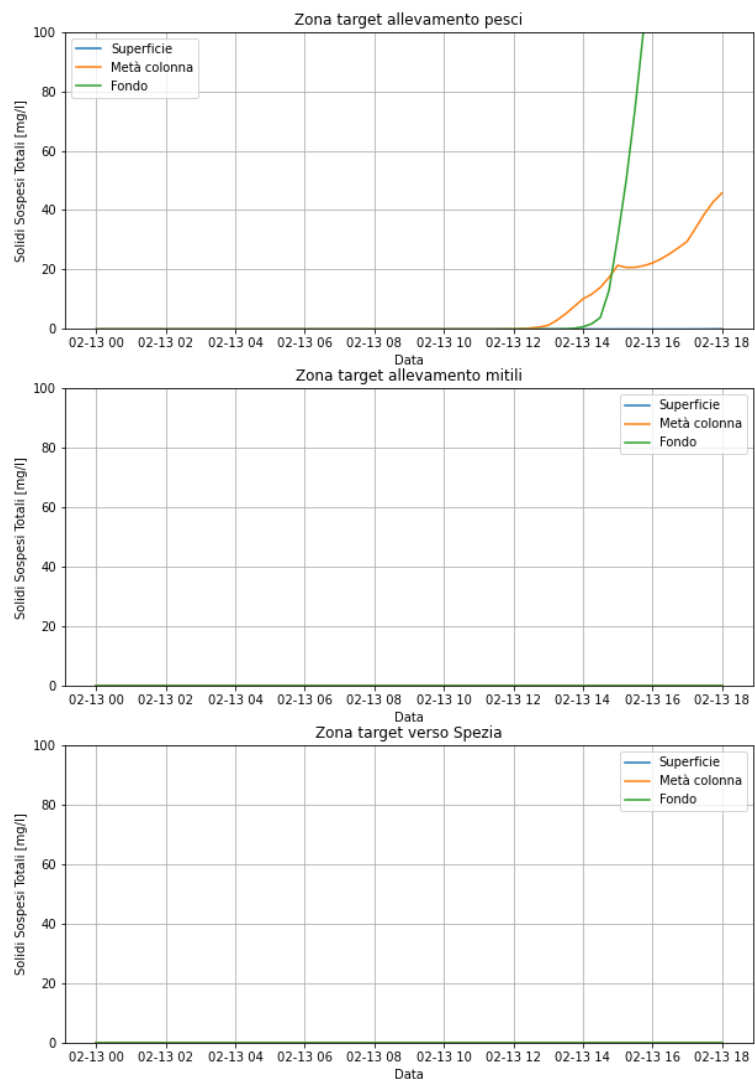
Simulazione_11_MT-idr-feb-area1



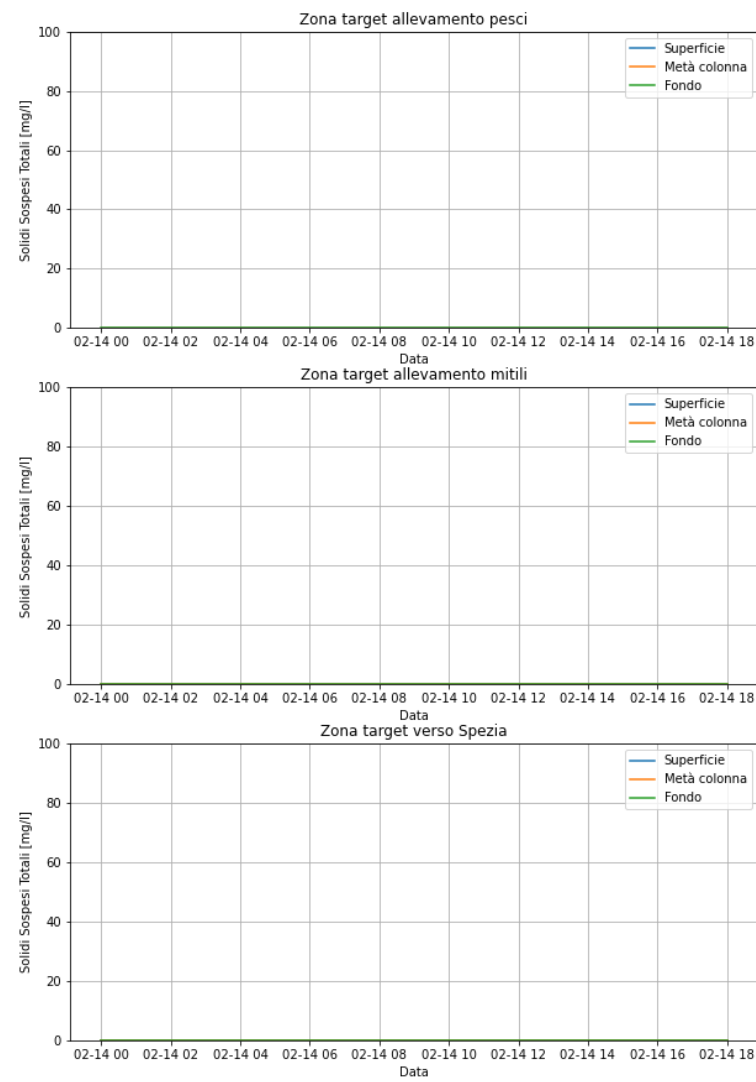
Simulazione_12_MT-idr-feb-area1



Simulazione_13_MT-idr-feb-area1

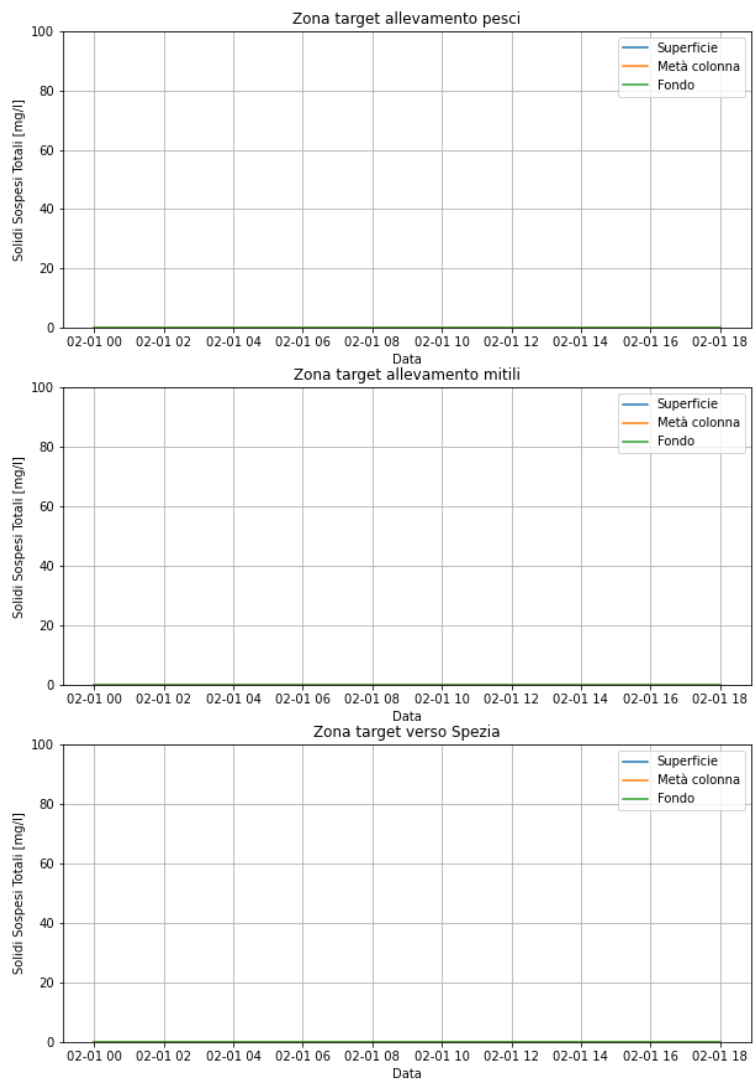


Simulazione_14_MT-idr-feb-area1

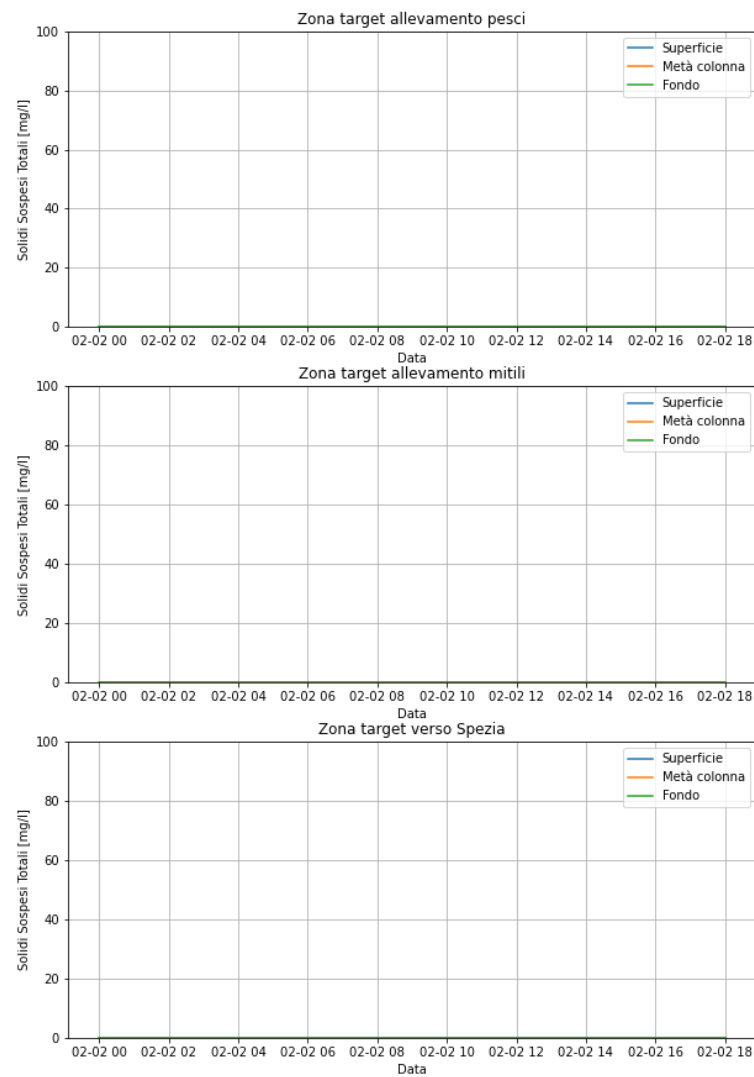


PERIODO INVERNALE – SORBONA – AREA 2

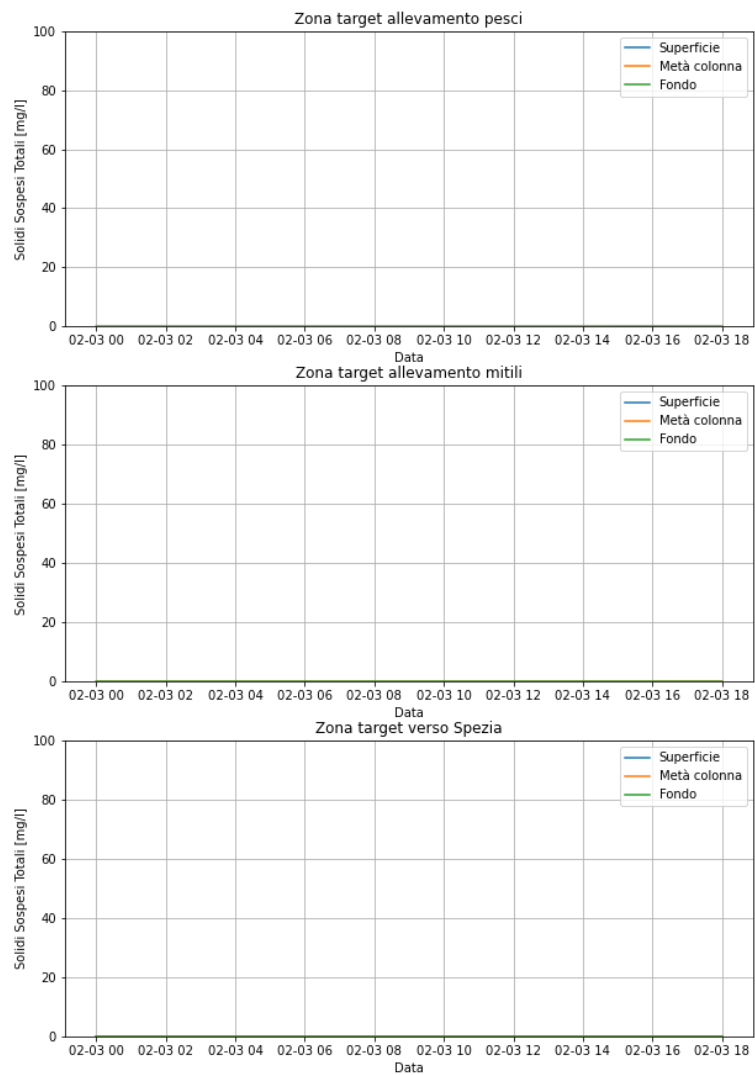
Simulazione_01_MT-idr-feb-area2



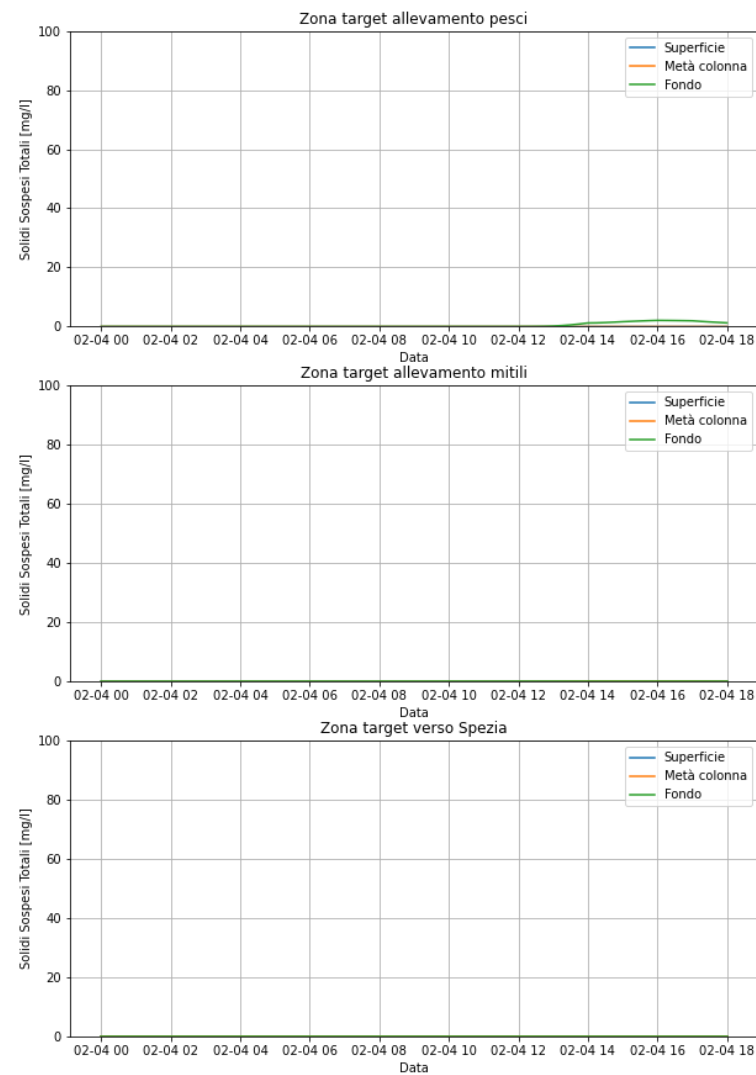
Simulazione_02_MT-idr-feb-area2



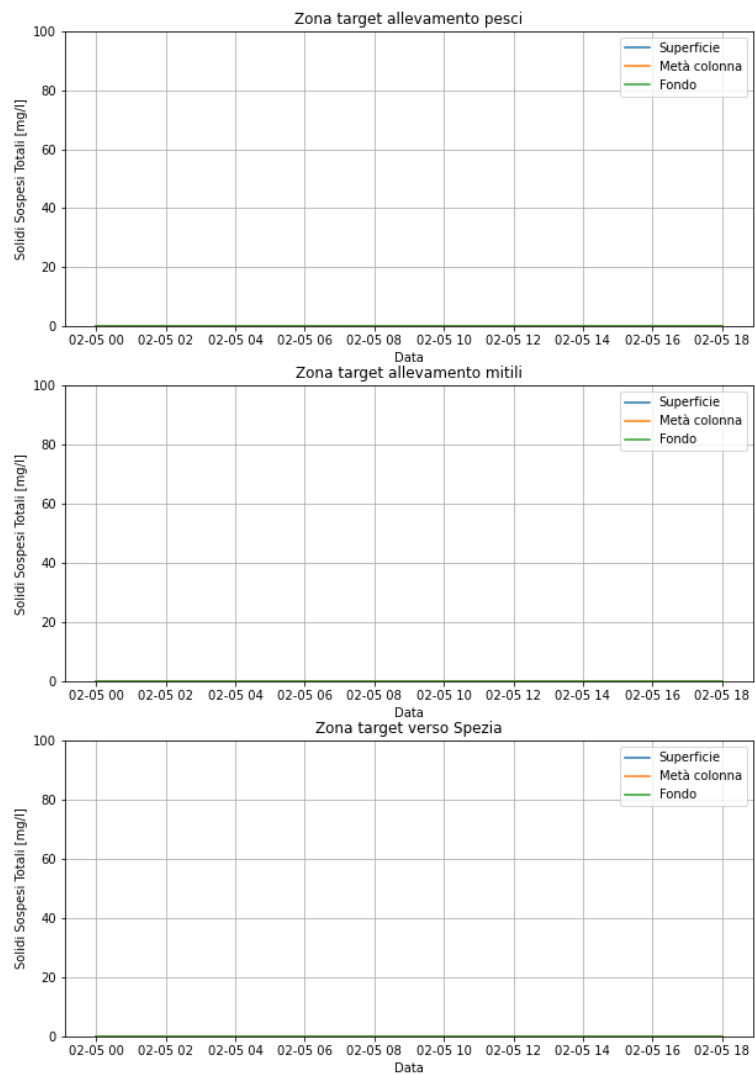
Simulazione_03_MT-idr-feb-area2



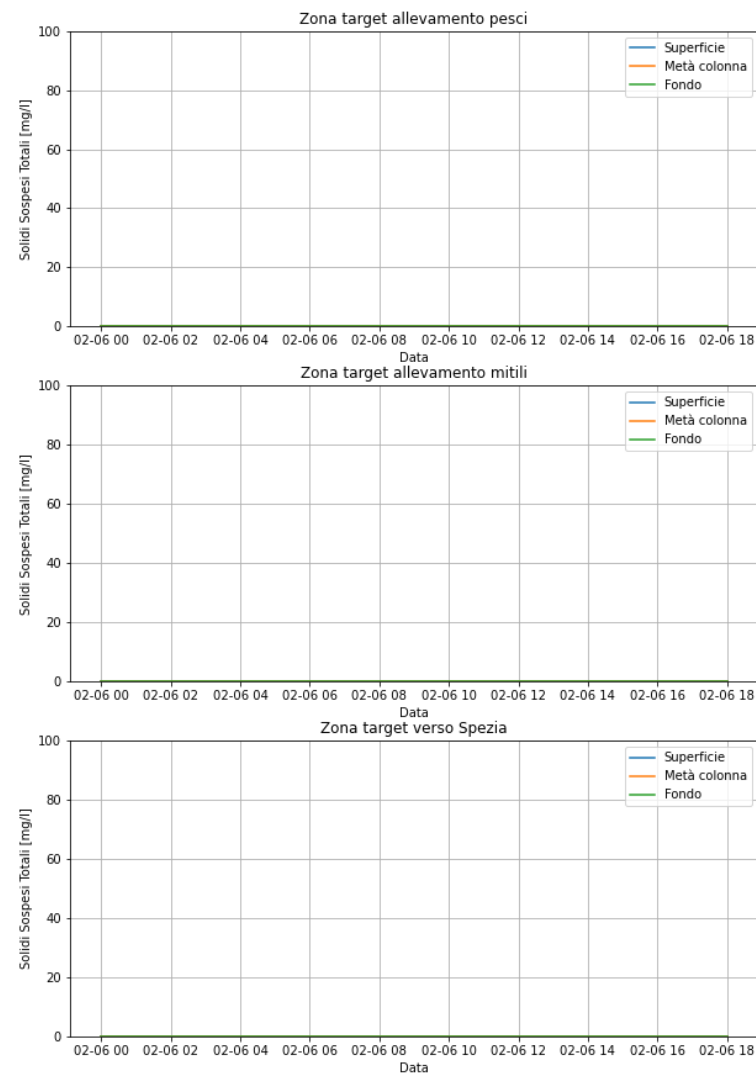
Simulazione_04_MT-idr-feb-area2



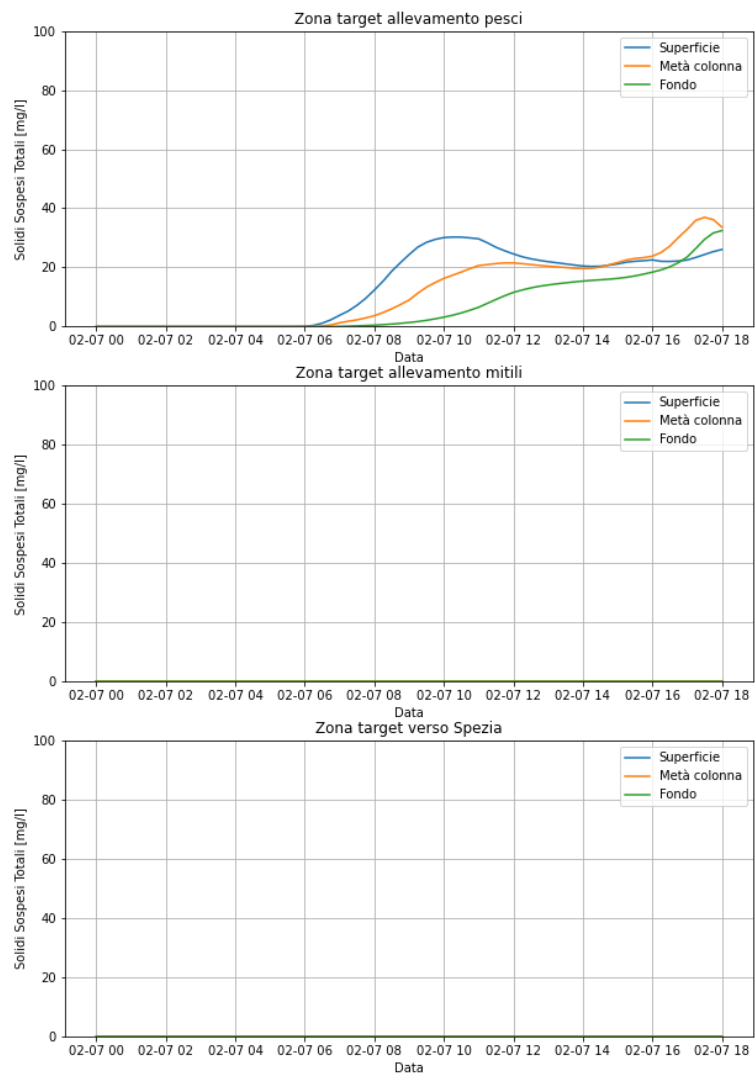
Simulazione_05__MT-idr-feb-area2



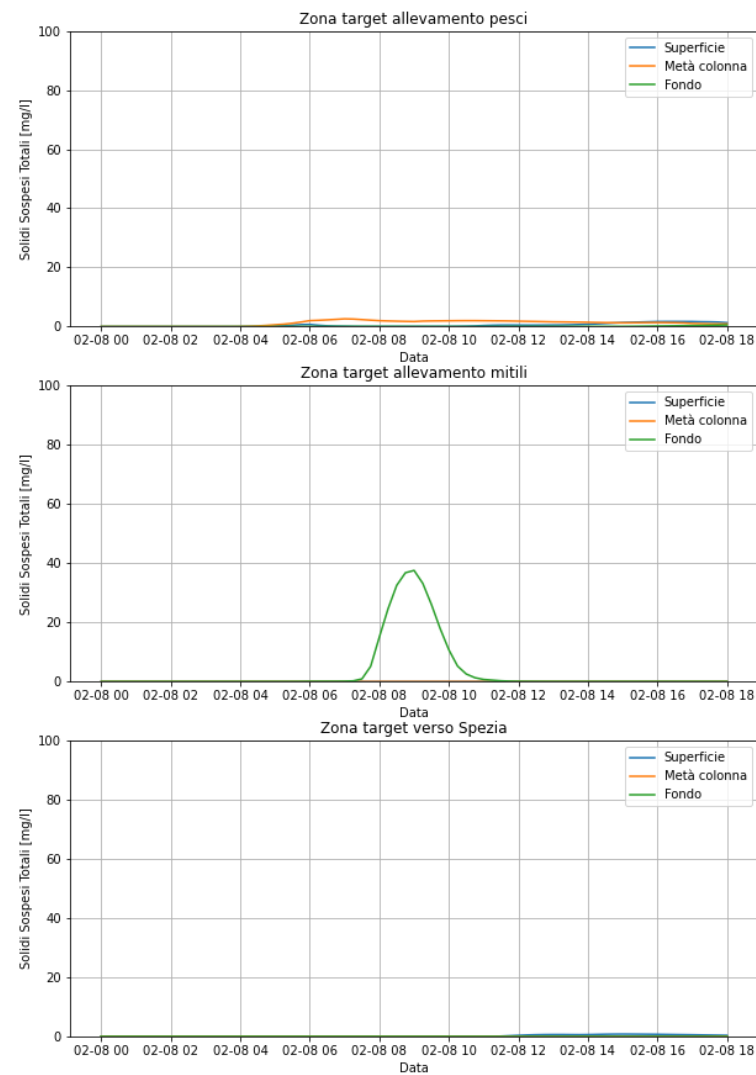
Simulazione_06__MT-idr-feb-area2



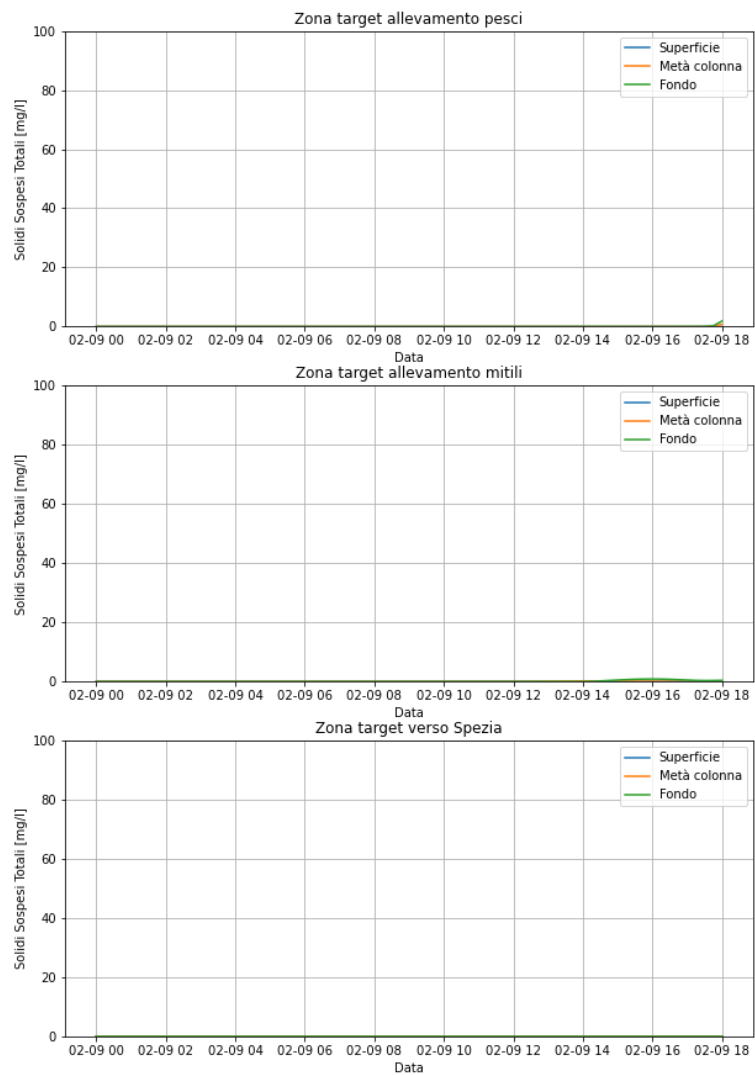
Simulazione_07_MT-idr-feb-area2



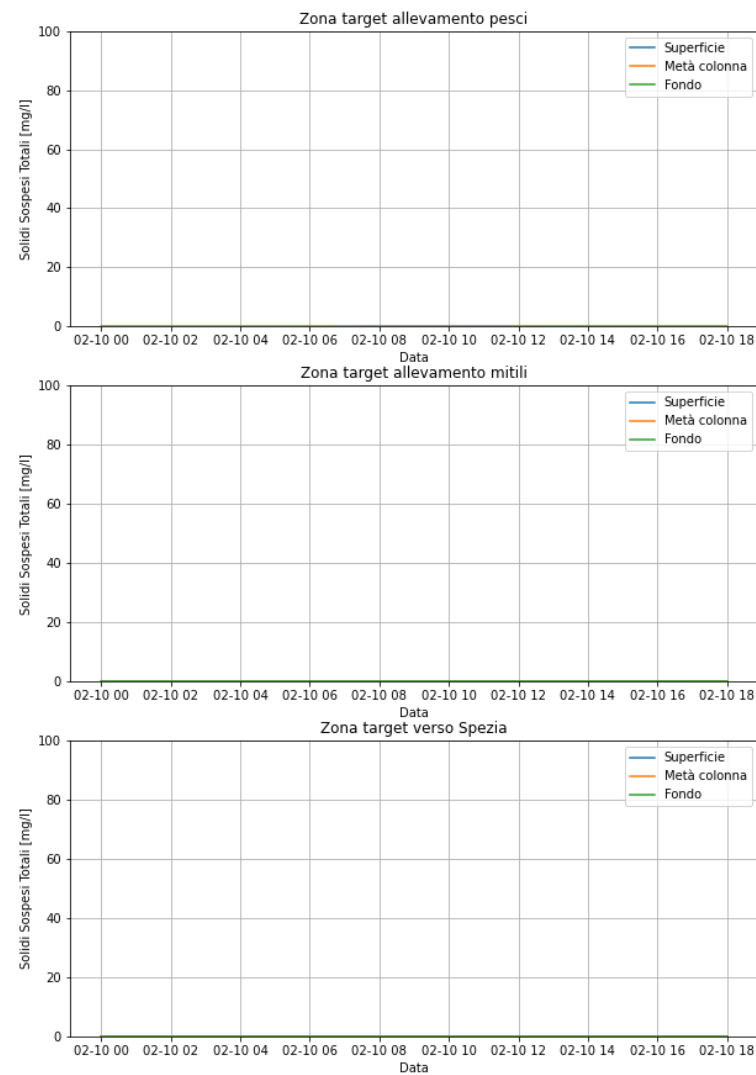
Simulazione_08_MT-idr-feb-area2



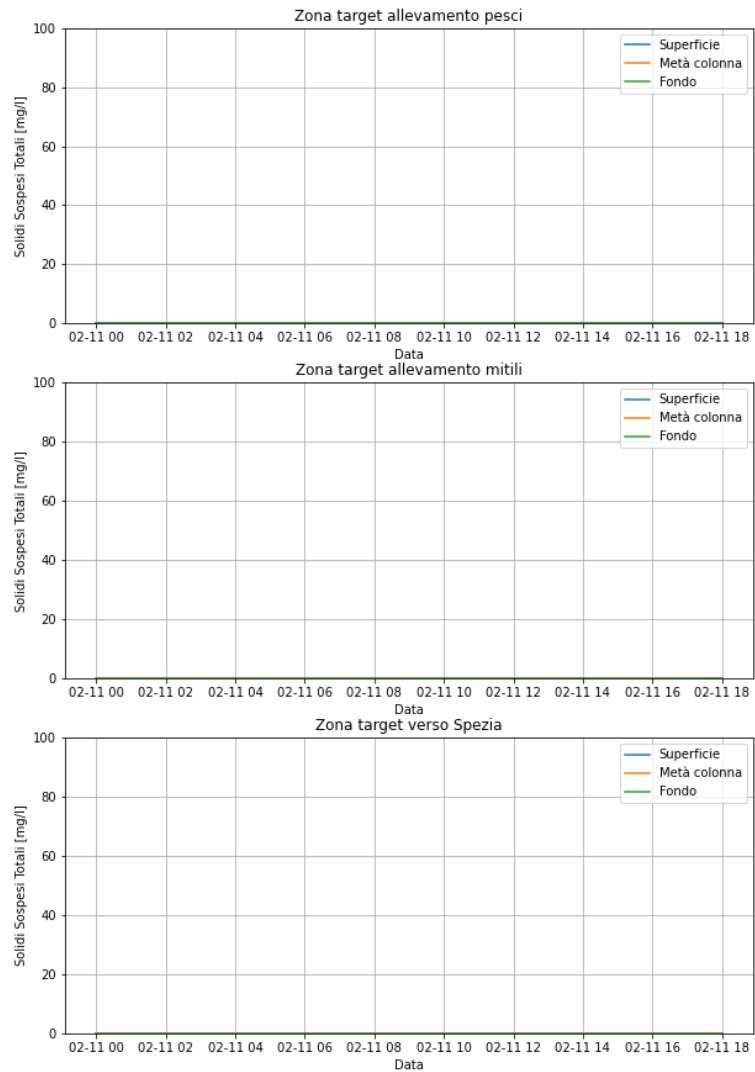
Simulazione_09_MT-idr-feb-area2



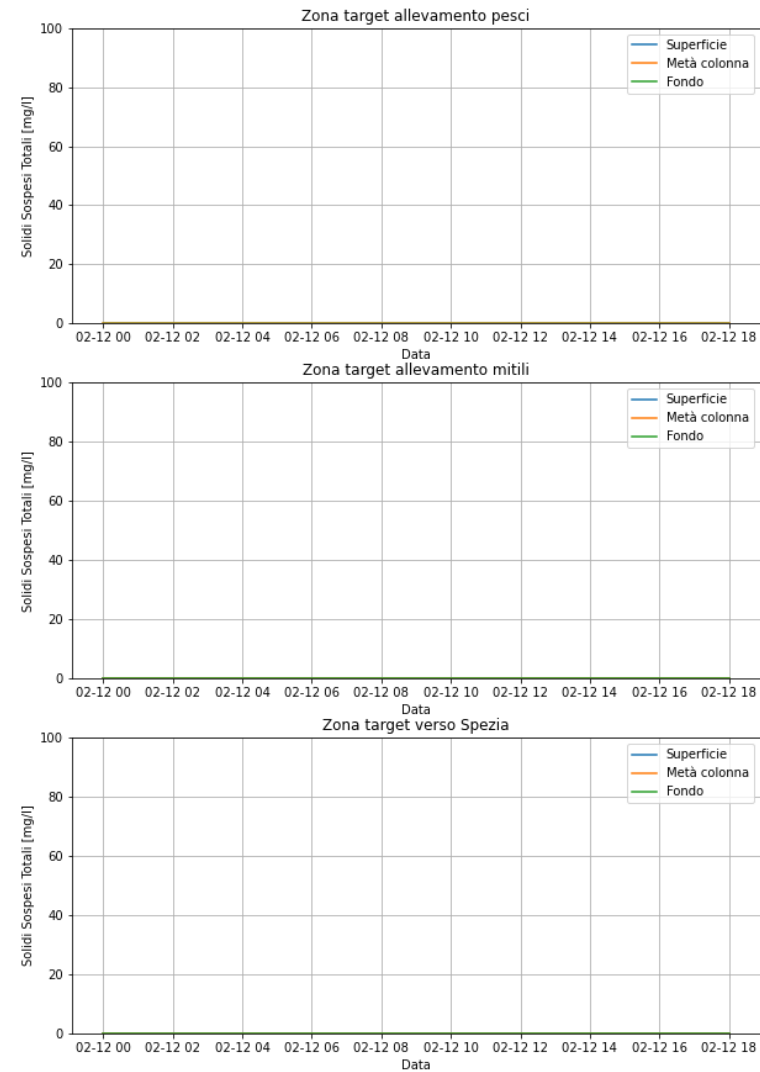
Simulazione_10_MT-idr-feb-area2



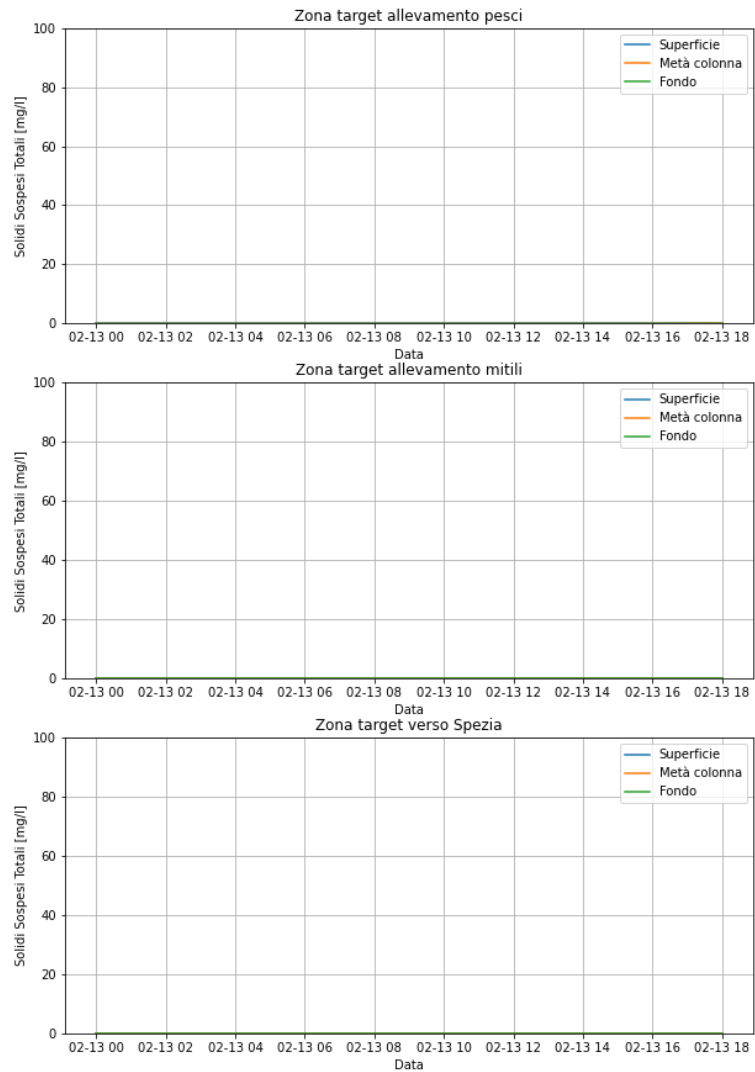
Simulazione_11_MT-idr-feb-area2



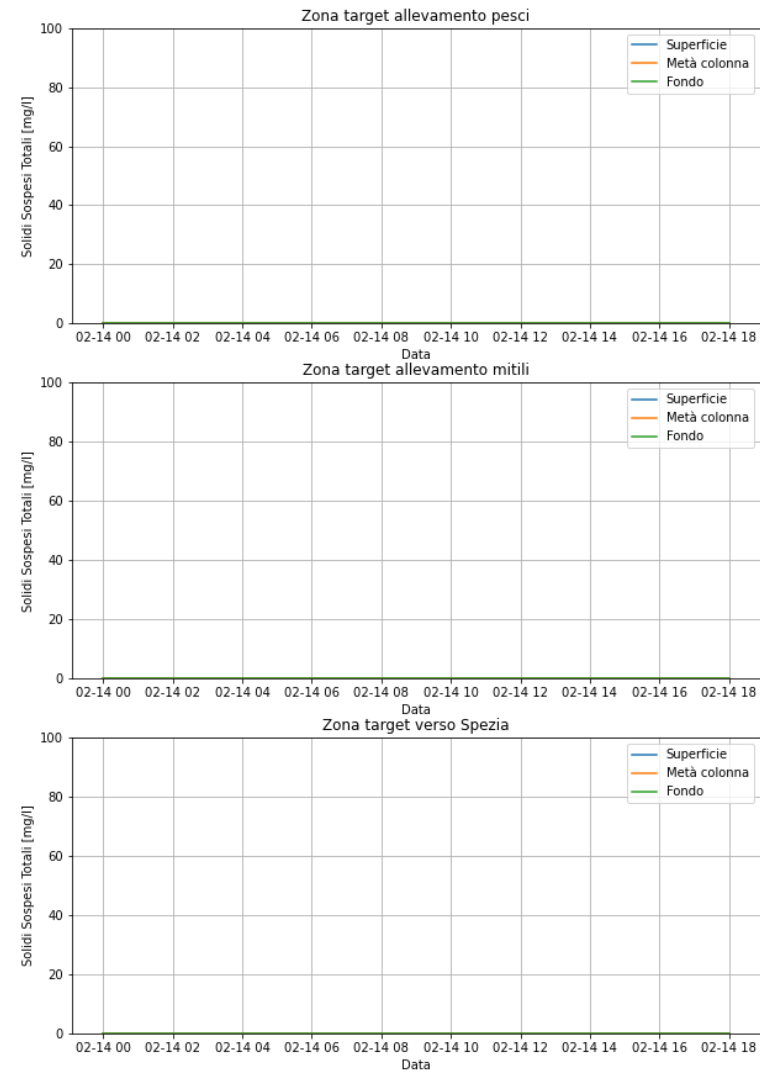
Simulazione_12_MT-idr-feb-area2



Simulazione_13__MT-idr-feb-area2

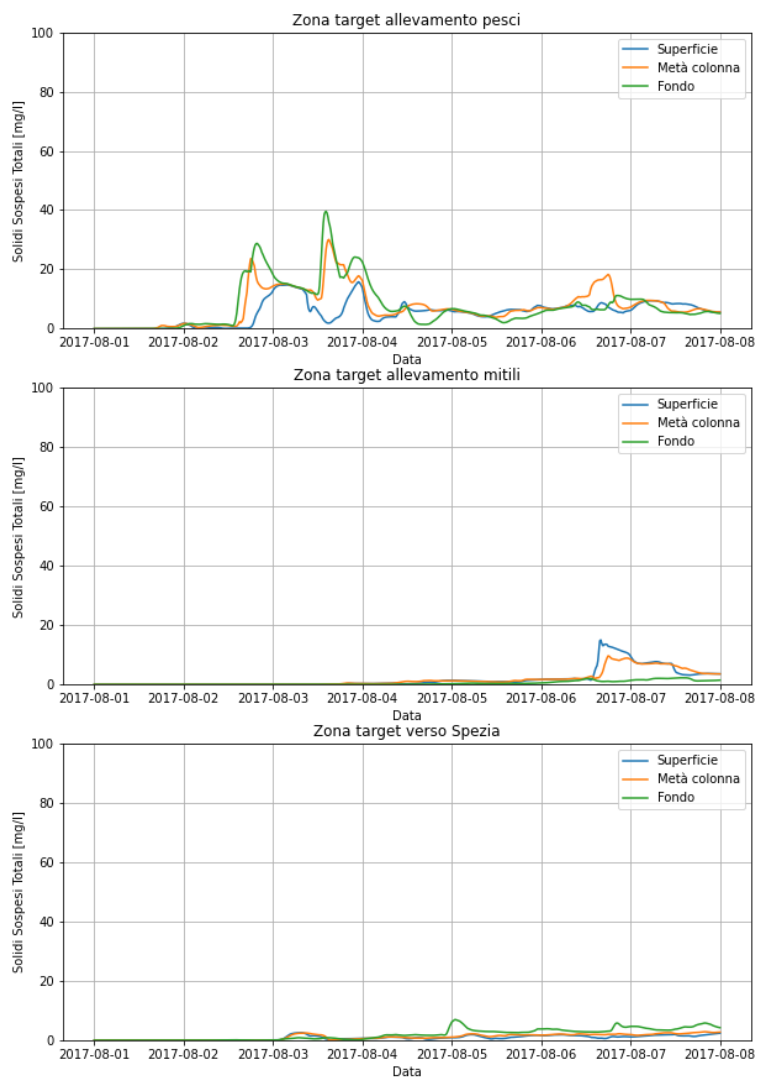


Simulazione_14__MT-idr-feb-area2

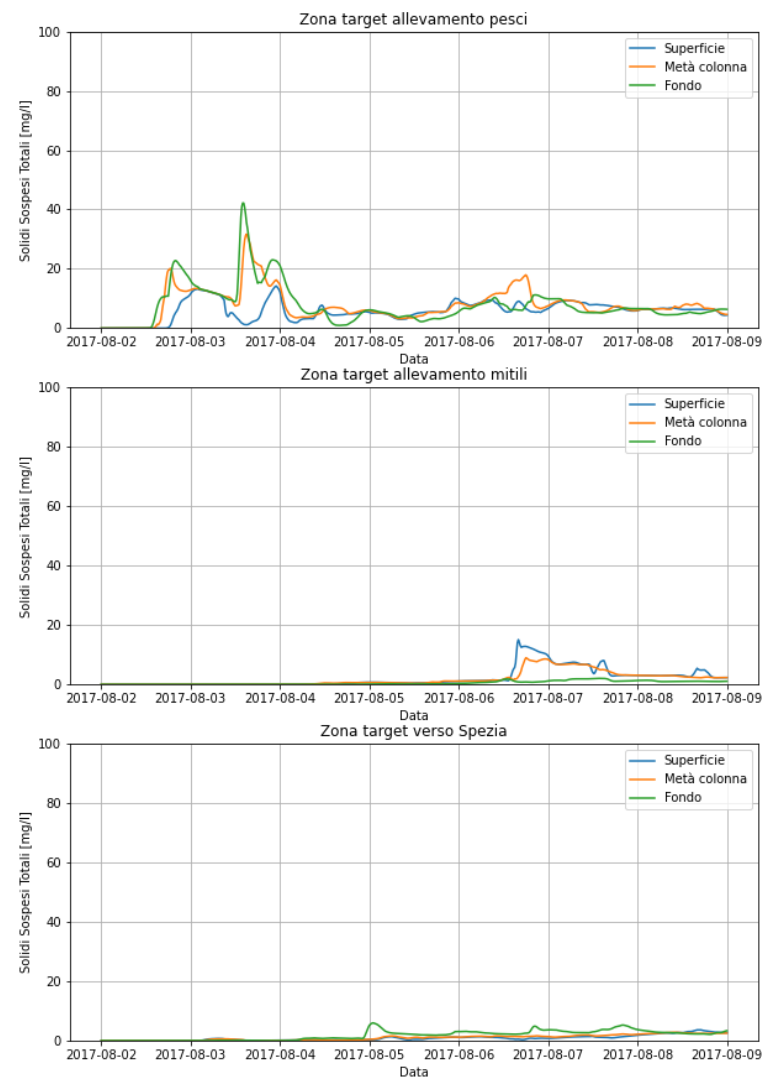


PERIODO ESTIVO – BENNA – AREA 1 – RATE DI ESCAVO RIDOTTO

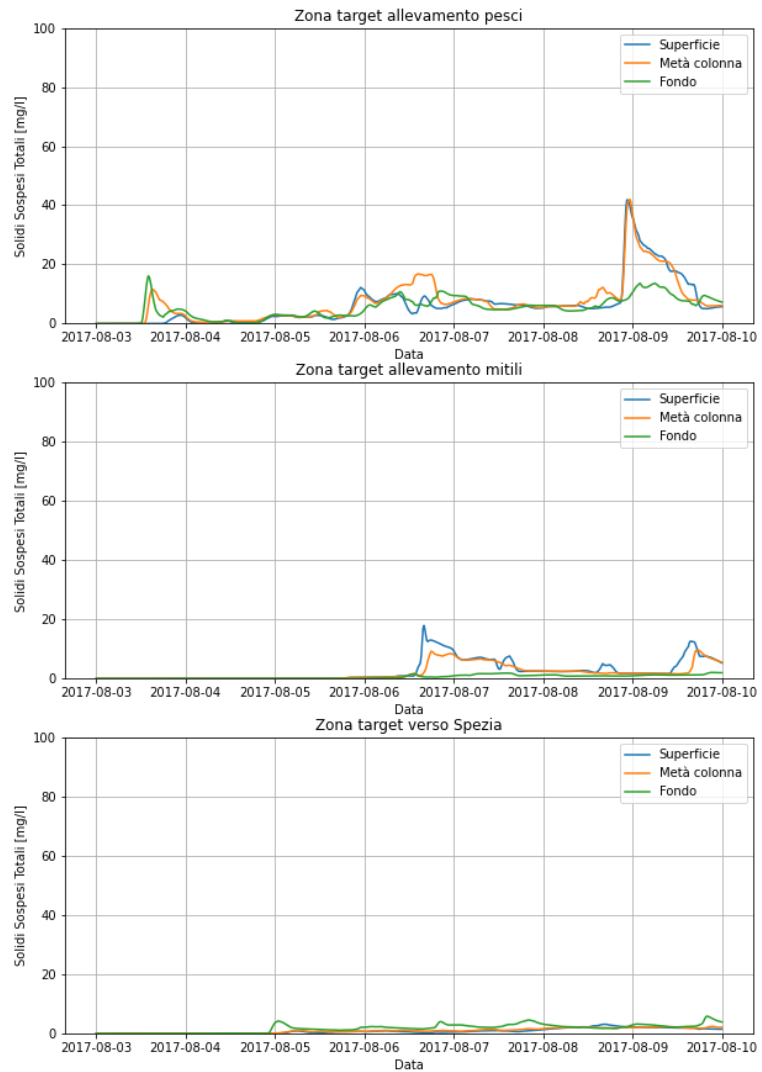
Simulazione_01_Rate-Ridotto_MT-mec-aug-area1



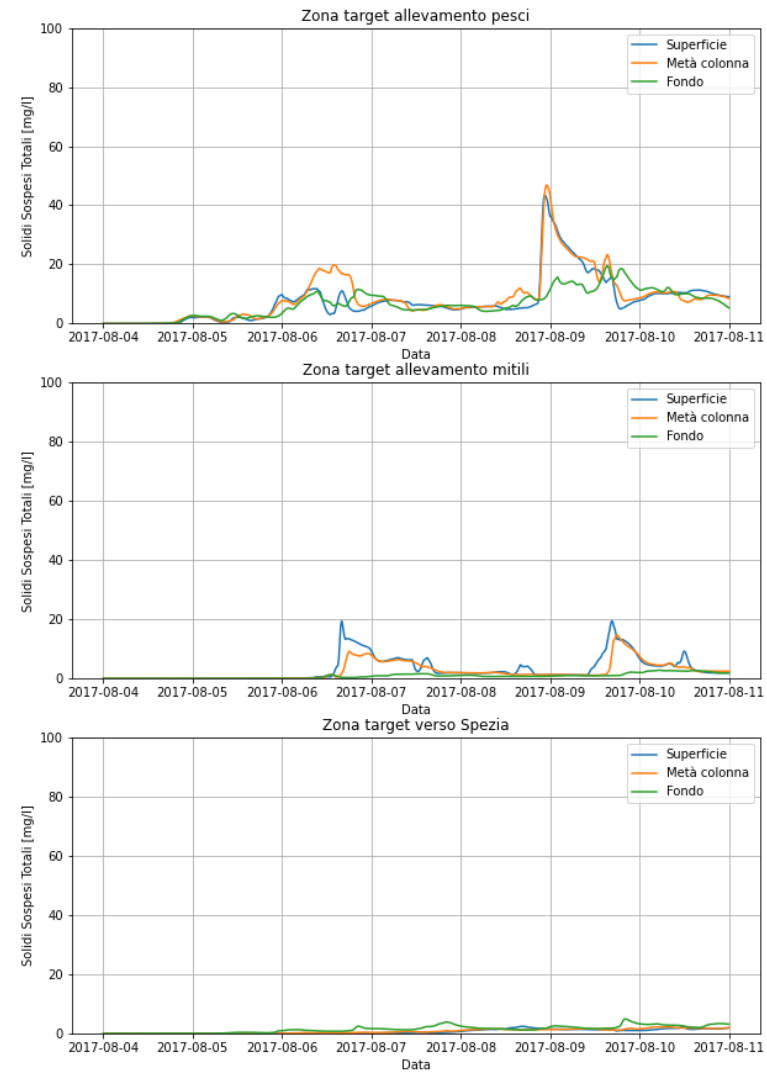
Simulazione_02_Rate-Ridotto_MT-mec-aug-area1



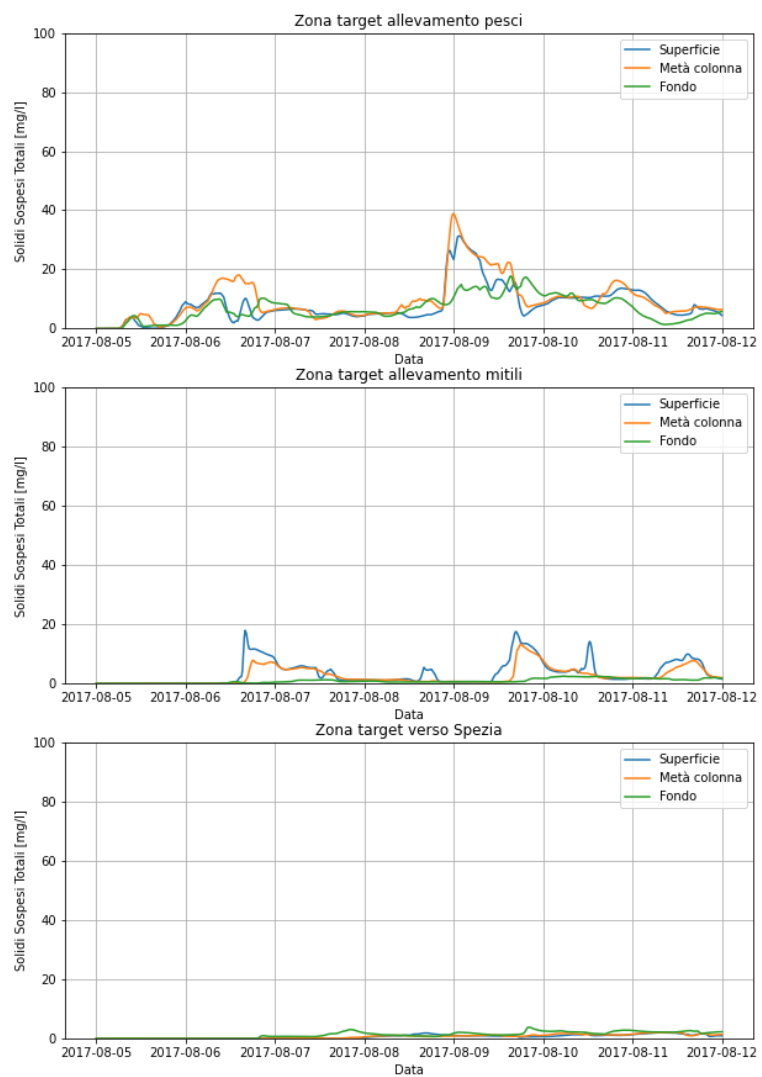
Simulazione_03_Rate-Ridotto_MT-mec-aug-area1



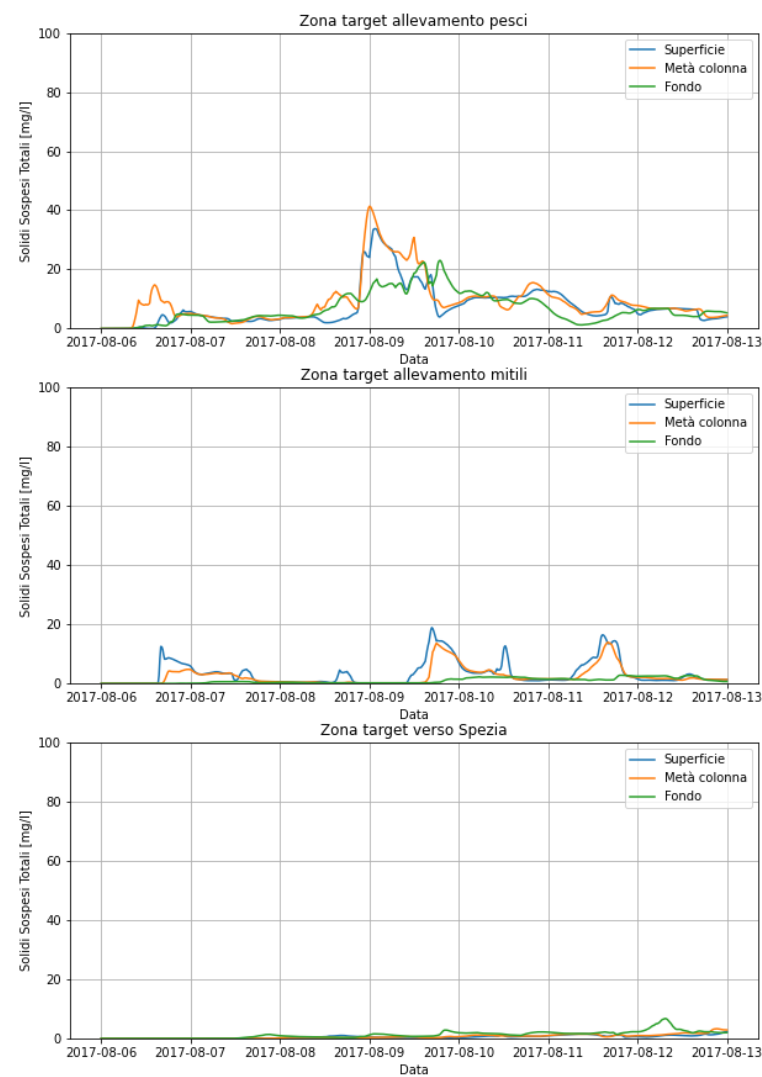
Simulazione_04_Rate-Ridotto_MT-mec-aug-area1



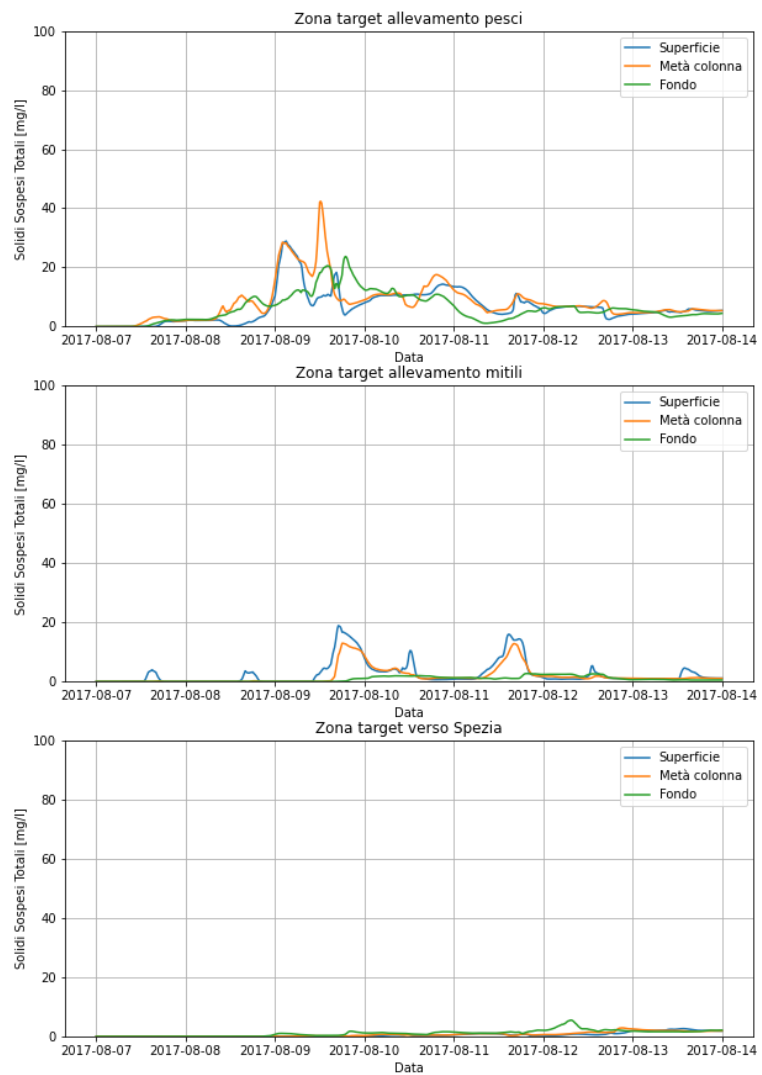
Simulazione_05_Rate-Ridotto_MT-mec-aug-area1



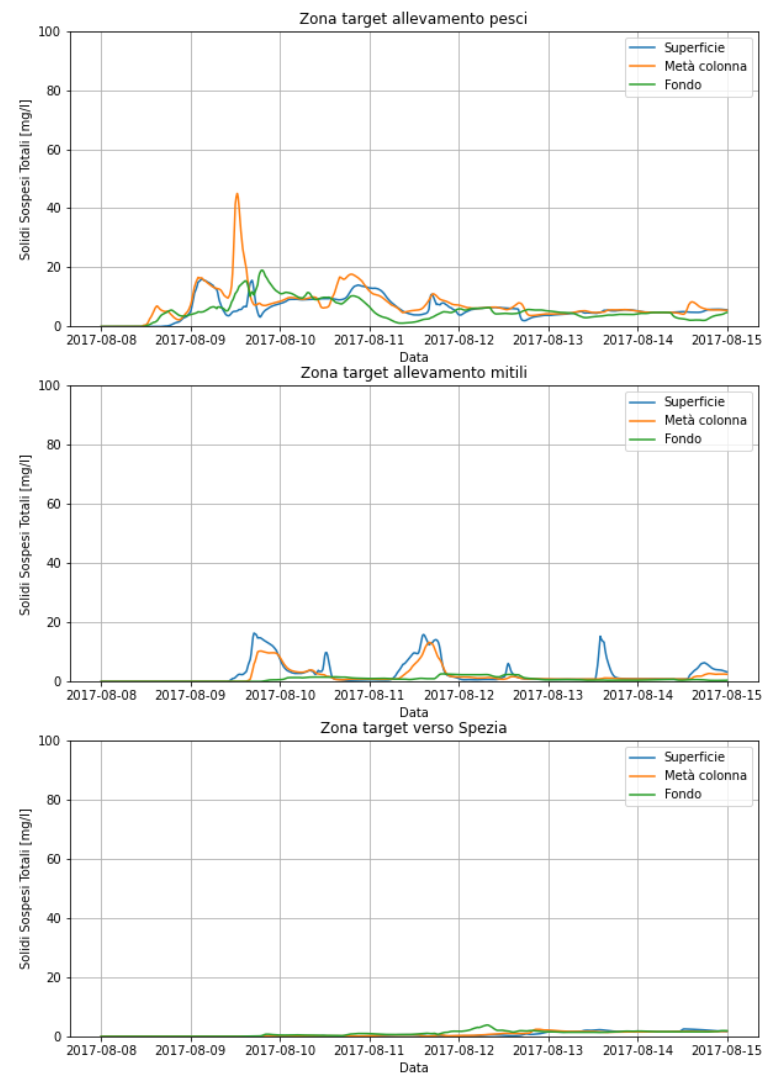
Simulazione_06_Rate-Ridotto_MT-mec-aug-area1



Simulazione_07_Rate-Ridotto_MT-mec-aug-area1

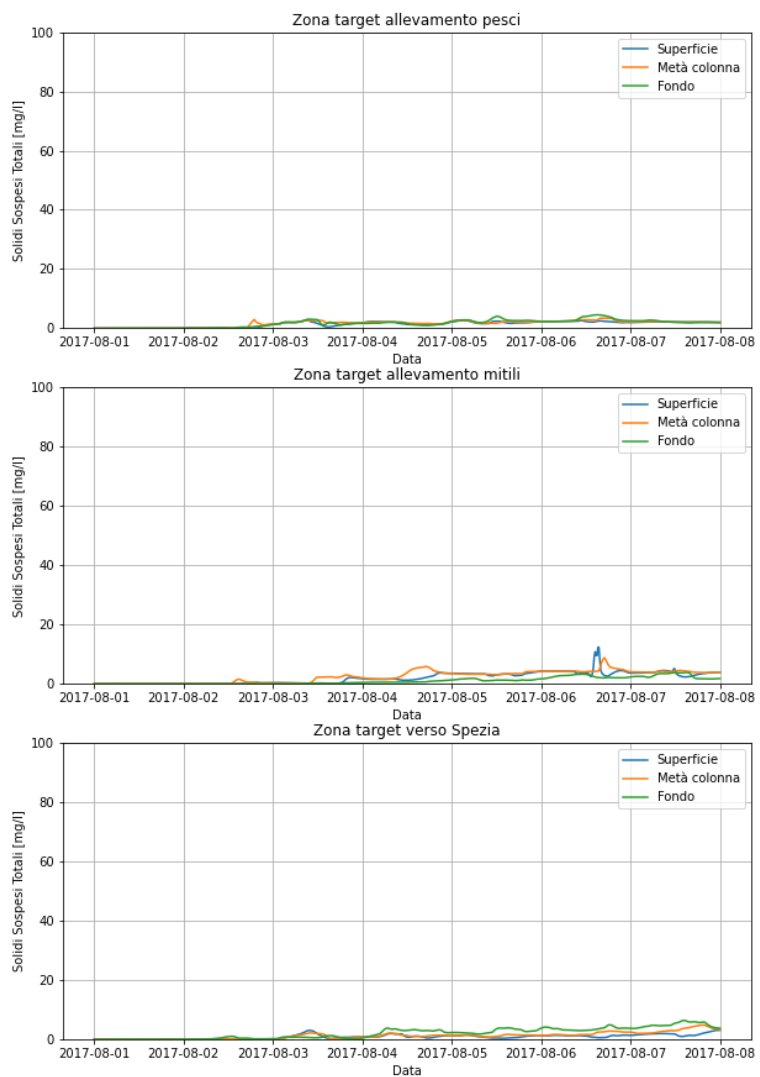


Simulazione_08_Rate-Ridotto_MT-mec-aug-area1

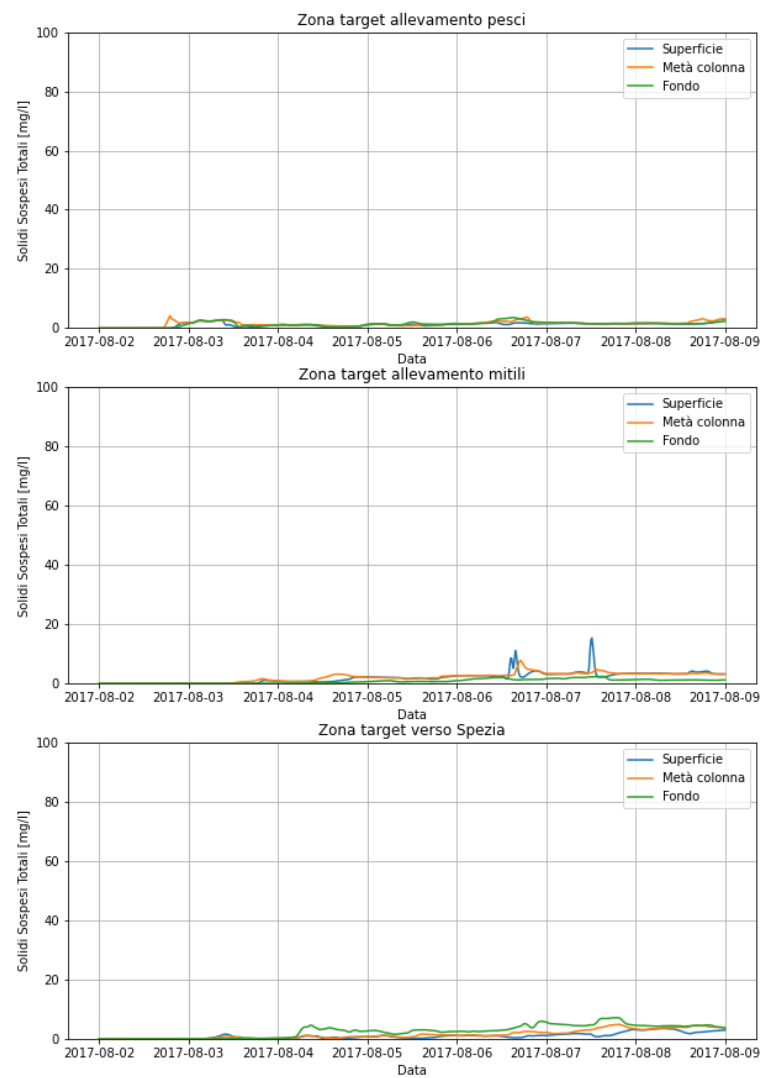


PERIODO ESTIVO – BENNA – AREA 2 – RATE DI ESCAVO RIDOTTO

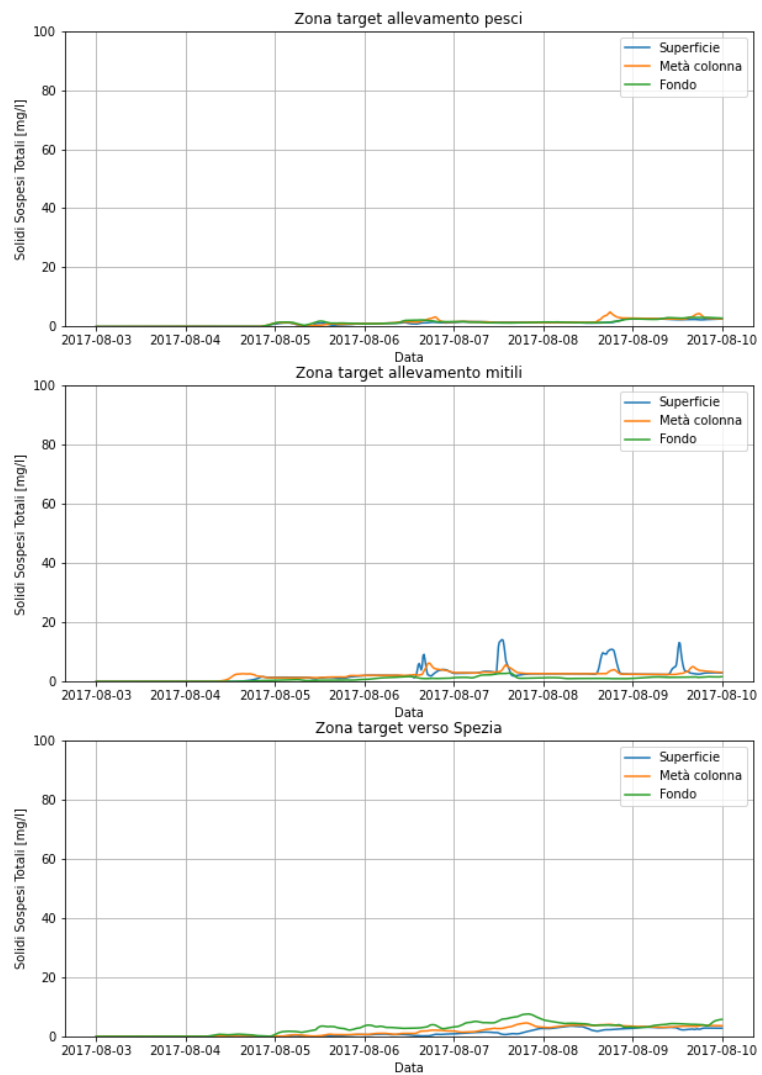
Simulazione_01_Rate-Ridotto_MT-mec-aug-area2



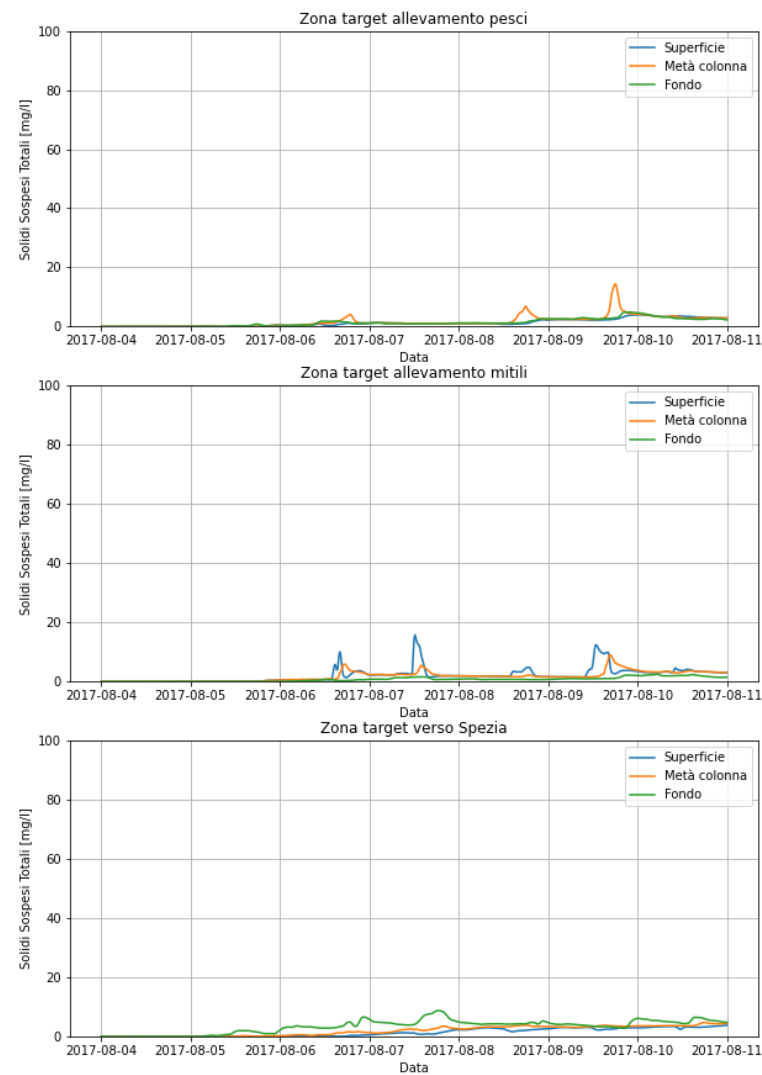
Simulazione_02_Rate-Ridotto_MT-mec-aug-area2



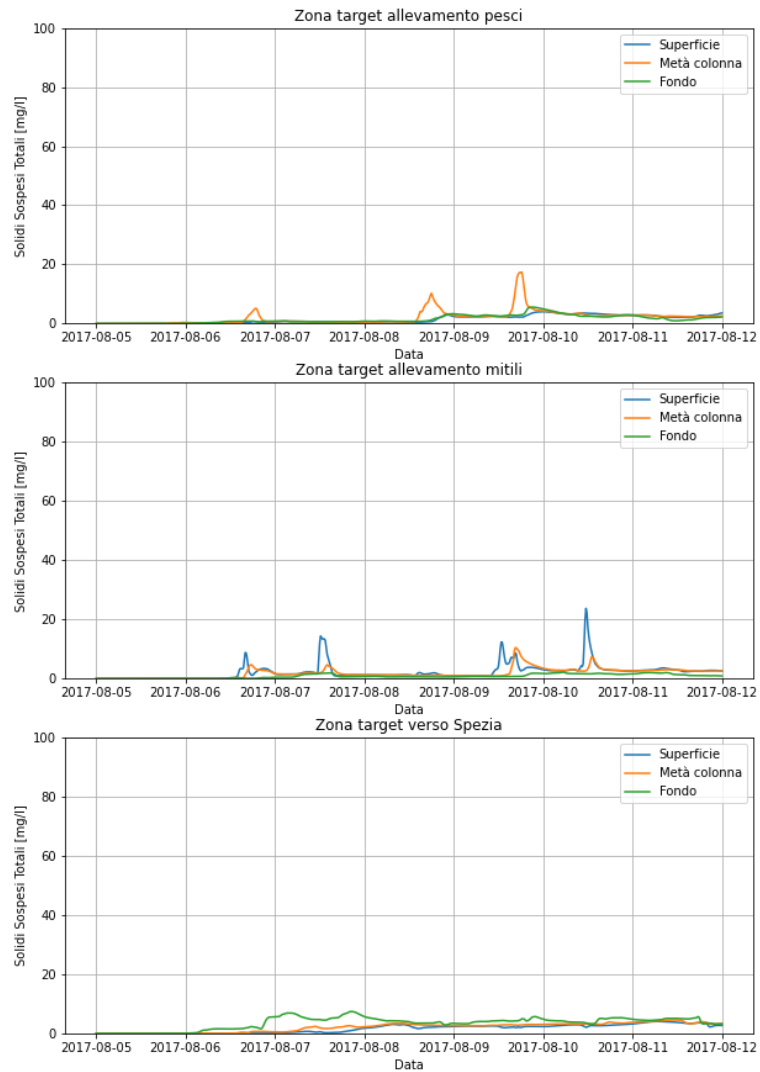
Simulazione_03_Rate-Ridotto_MT-mec-aug-area2



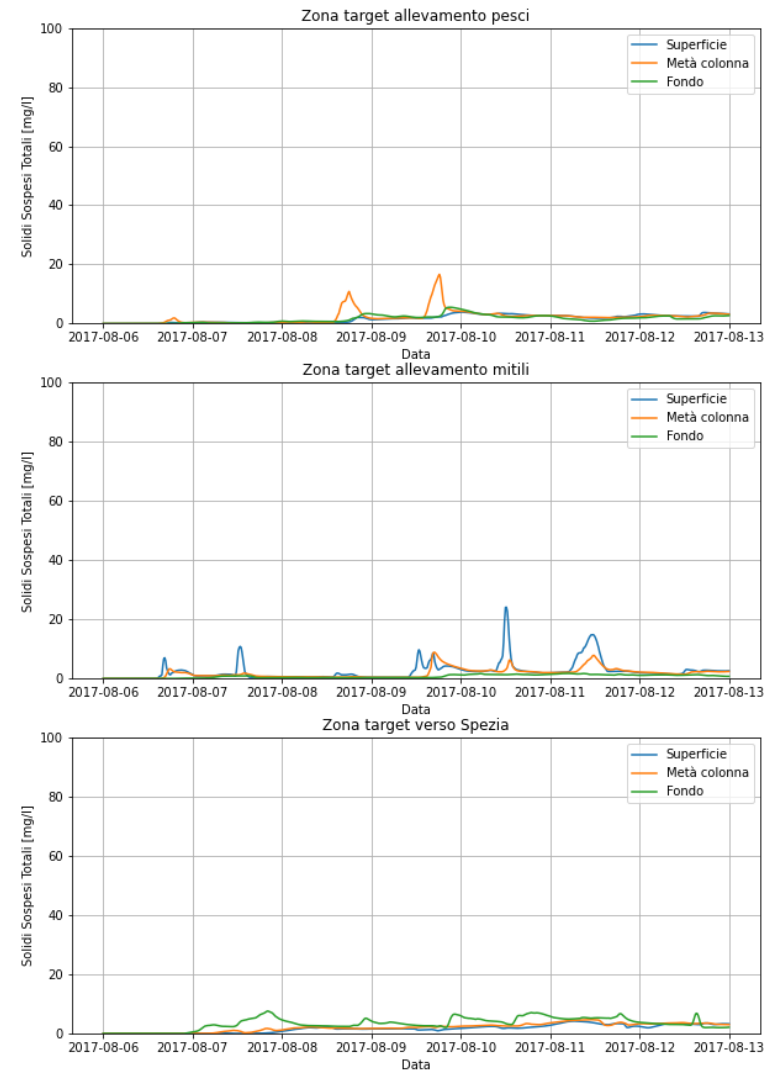
Simulazione_04_Rate-Ridotto_MT-mec-aug-area2



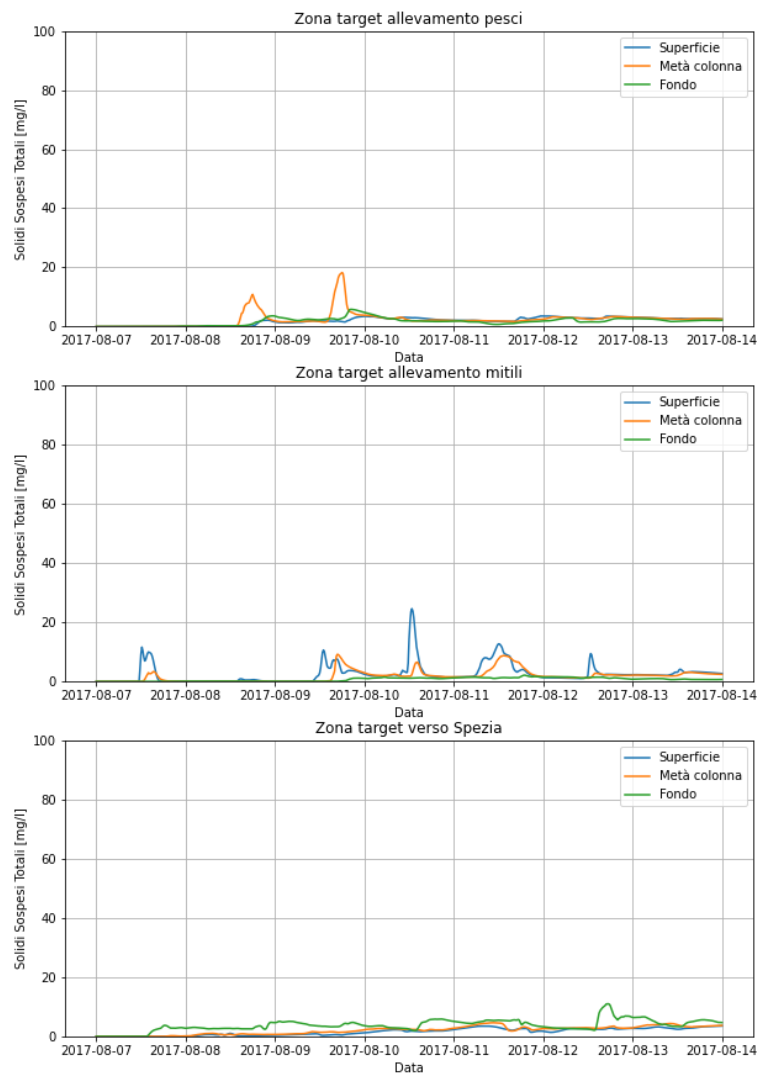
Simulazione_05_Rate-Ridotto_MT-mec-aug-area2



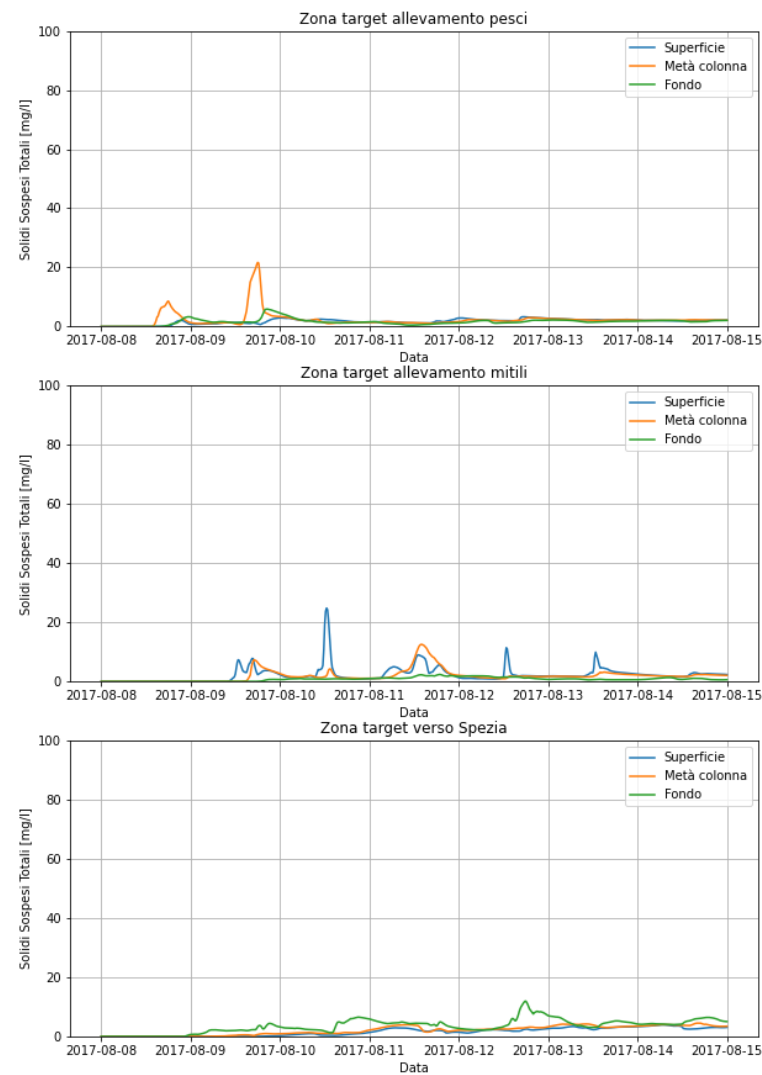
Simulazione_06_Rate-Ridotto_MT-mec-aug-area2



Simulazione_07_Rate-Ridotto_MT-mec-aug-area2

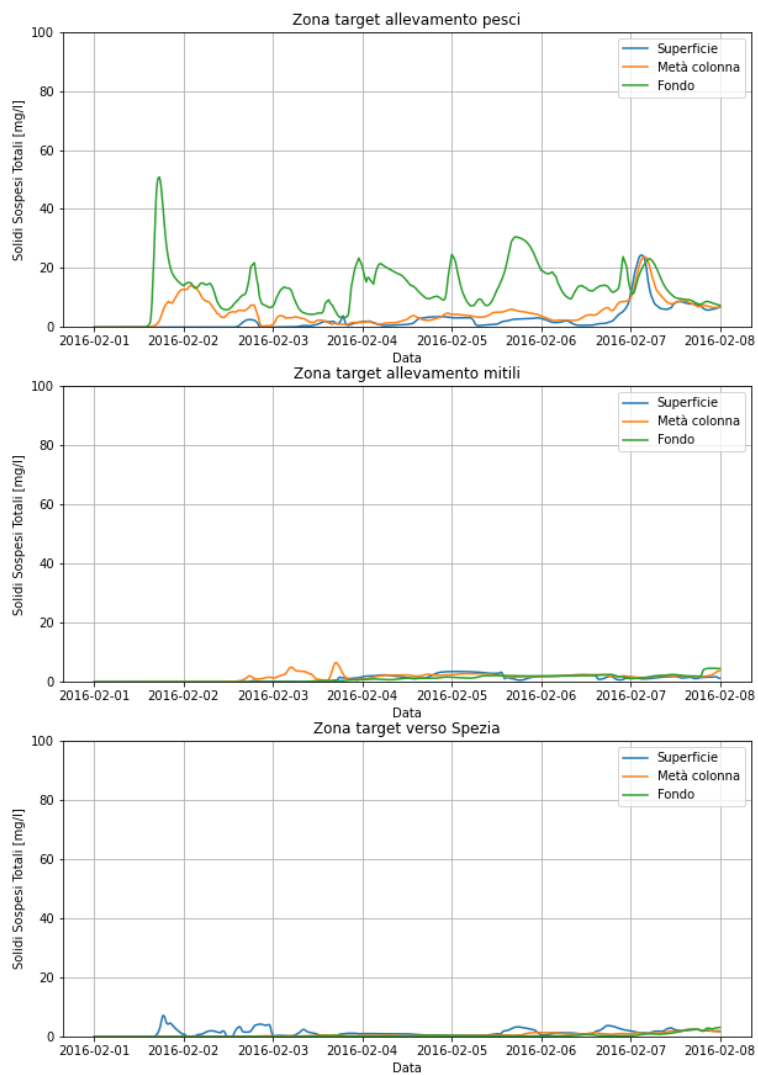


Simulazione_08_Rate-Ridotto_MT-mec-aug-area2

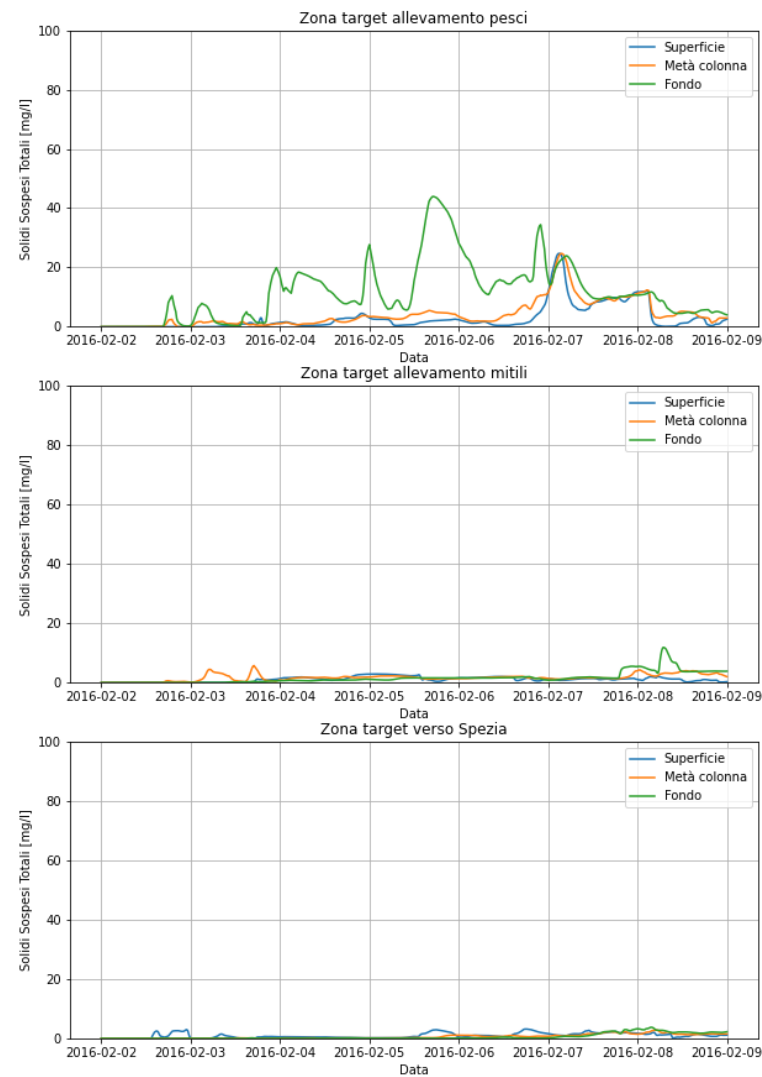


PERIODO INVERNALE – BENNA – AREA 1 – RATE DI ESCAVO RIDOTTO

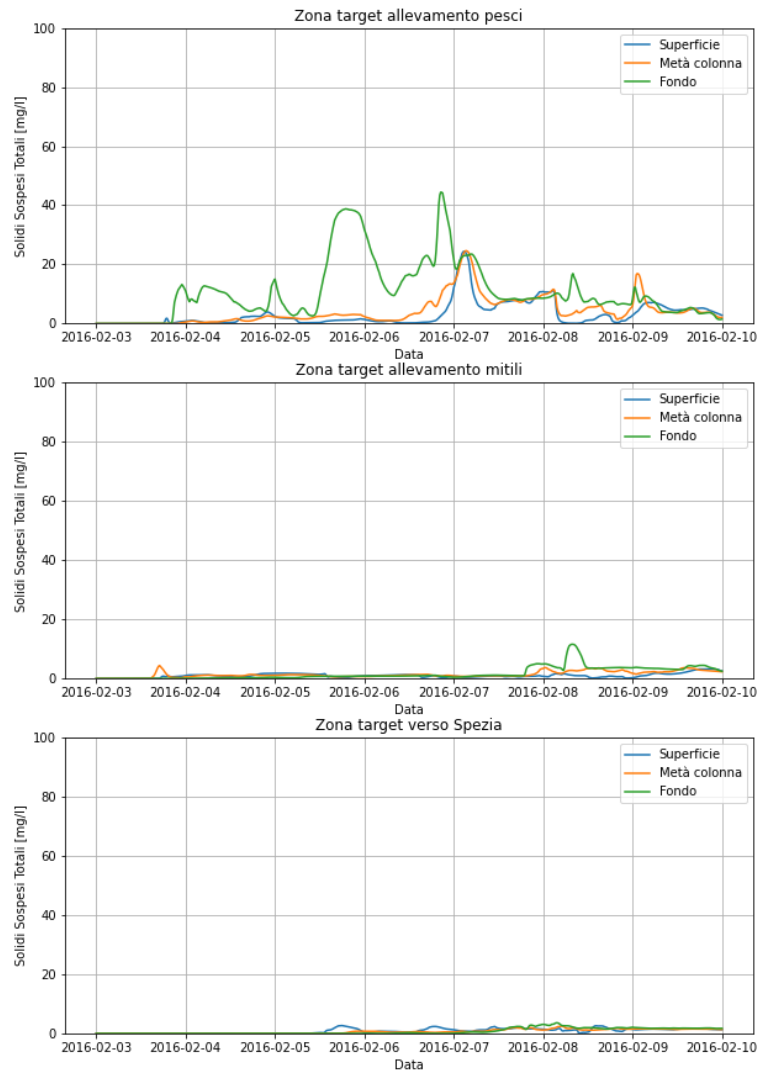
Simulazione_01_Rate-Ridotto_MT-mec-feb-area1



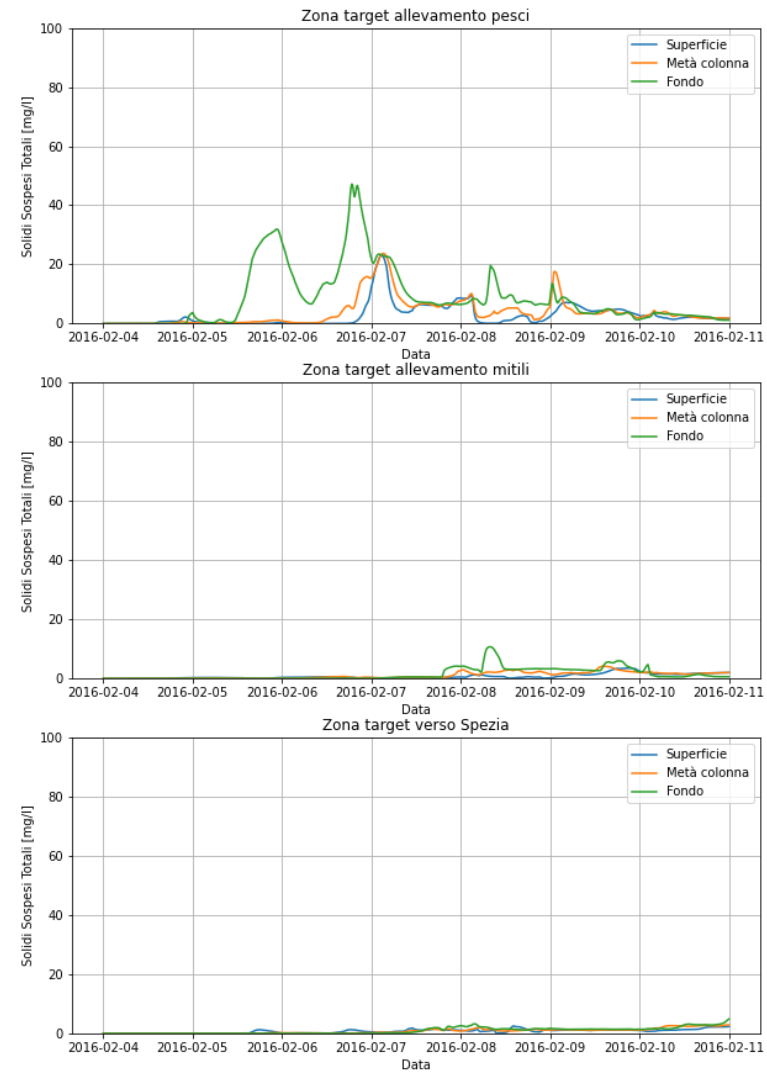
Simulazione_02_Rate-Ridotto_MT-mec-feb-area1



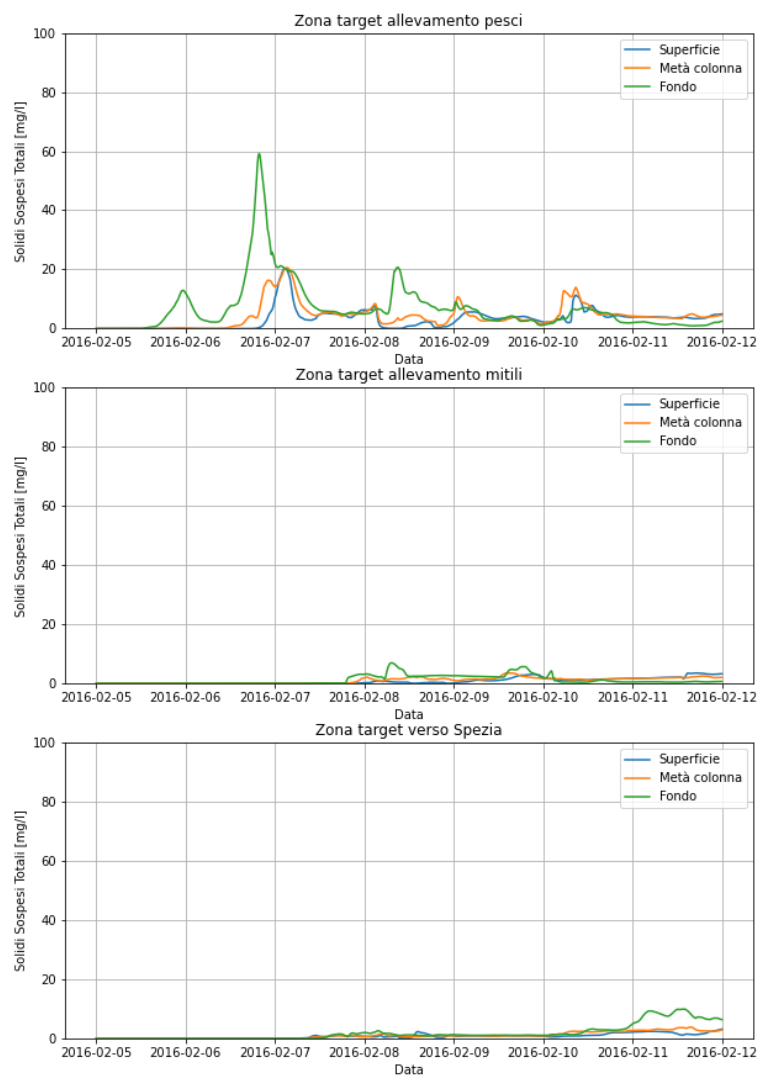
Simulazione_03_Rate-Ridotto_MT-mec-feb-area1



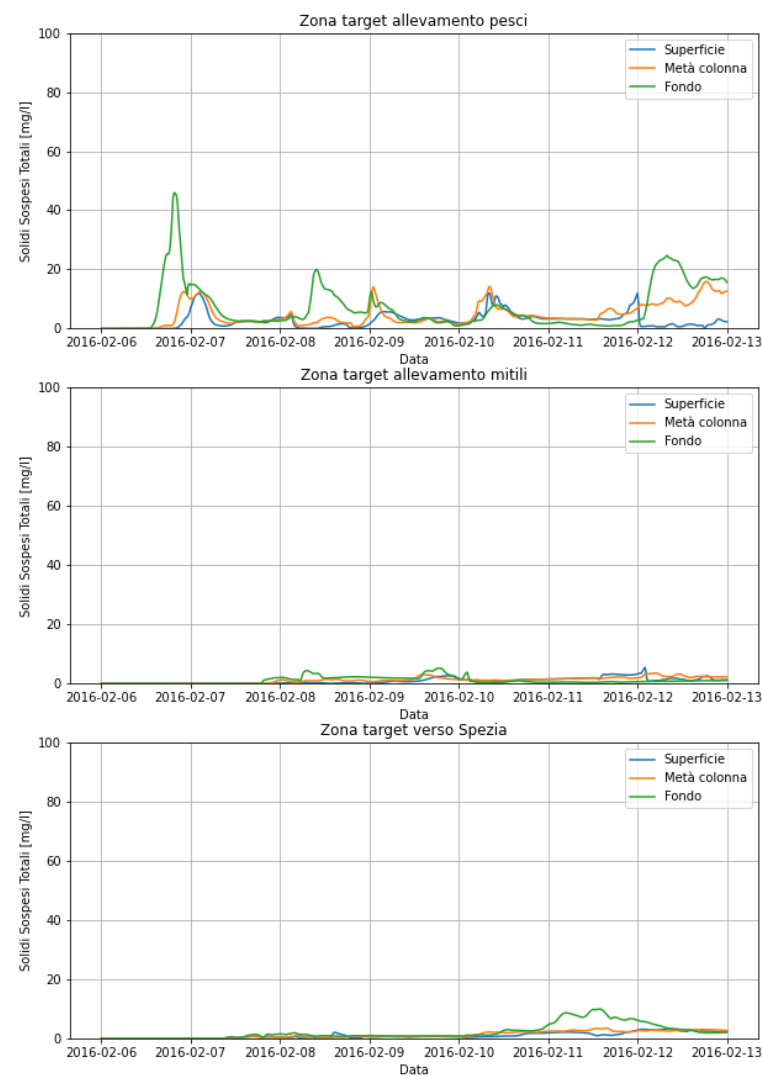
Simulazione_04_Rate-Ridotto_MT-mec-feb-area1



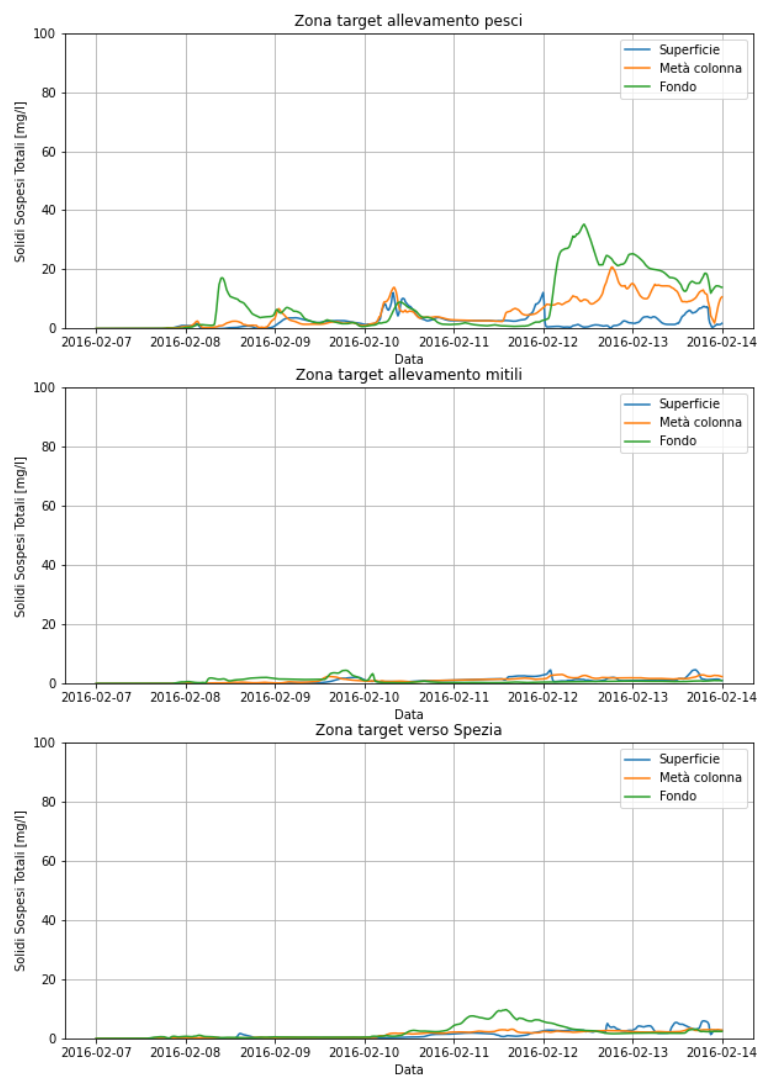
Simulazione_05_Rate-Ridotto_MT-mec-feb-area1



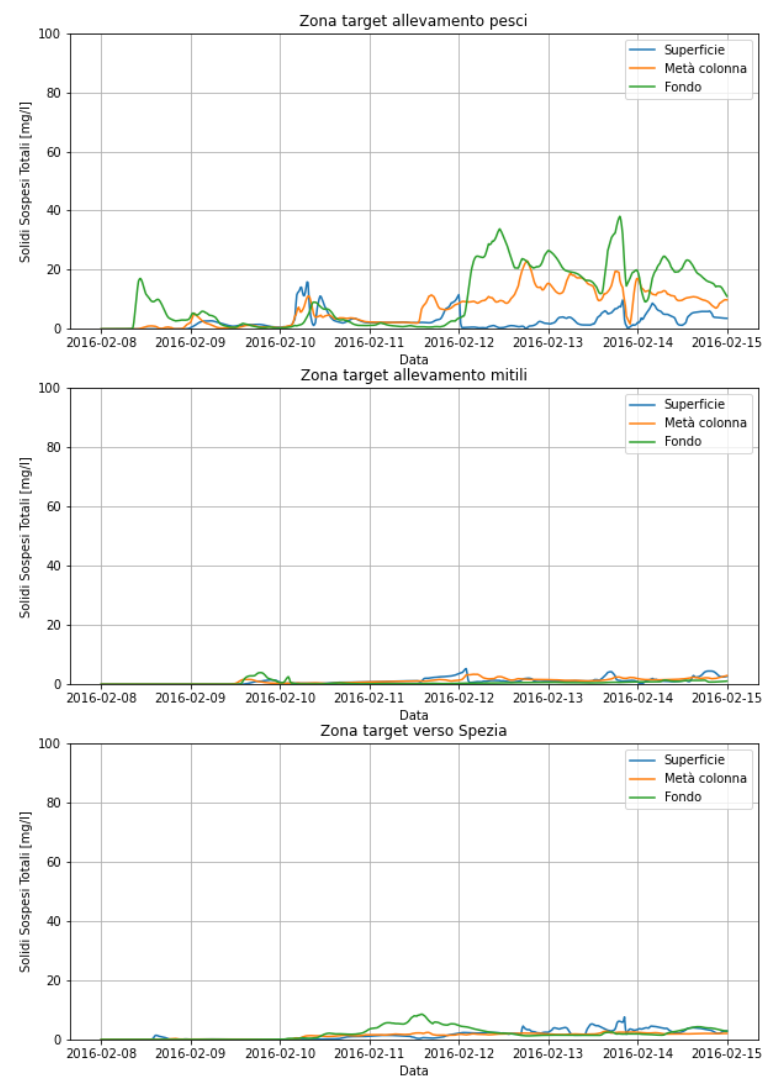
Simulazione_06_Rate-Ridotto_MT-mec-feb-area1



Simulazione_07_Rate-Ridotto_MT-mec-feb-area1

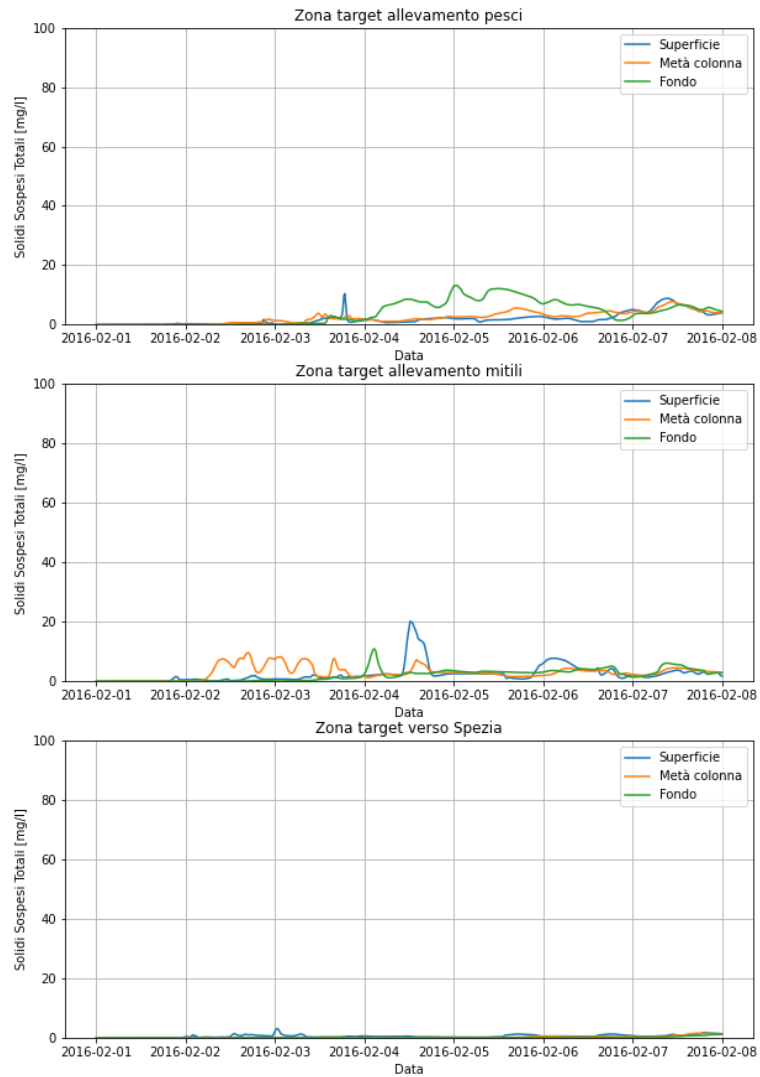


Simulazione_08_Rate-Ridotto_MT-mec-feb-area1

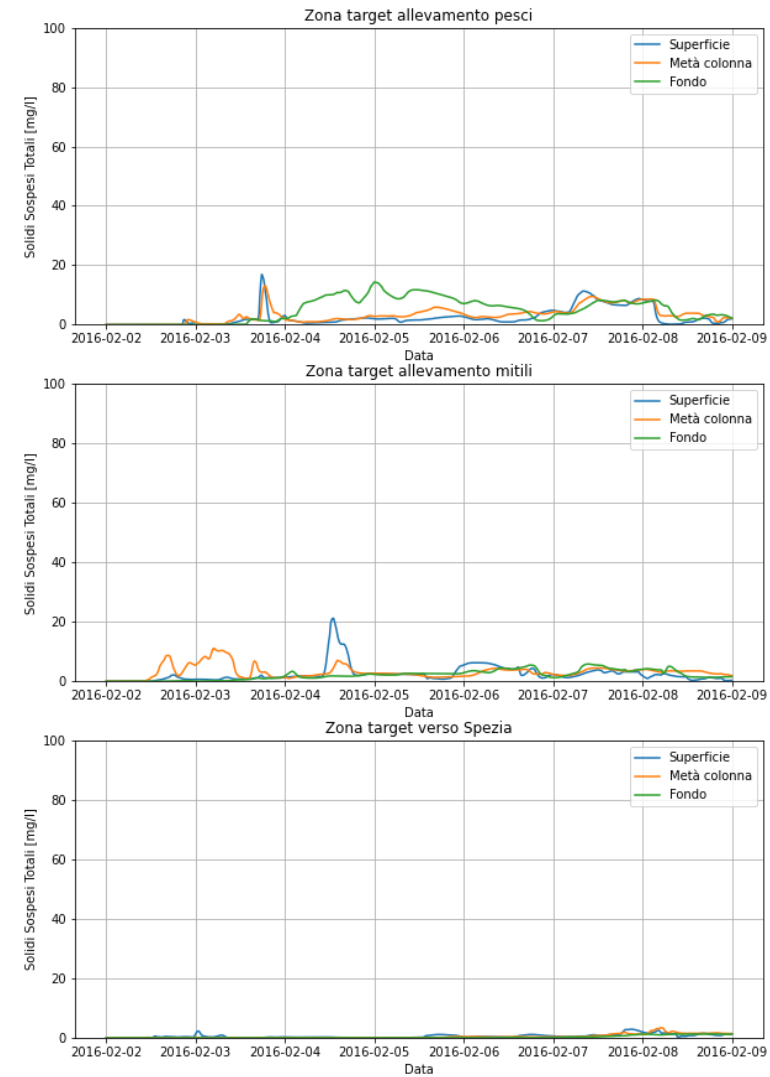


PERIODO INVERNALE – BENNA – AREA 2 – RATE DI ESCAVO RIDOTTO

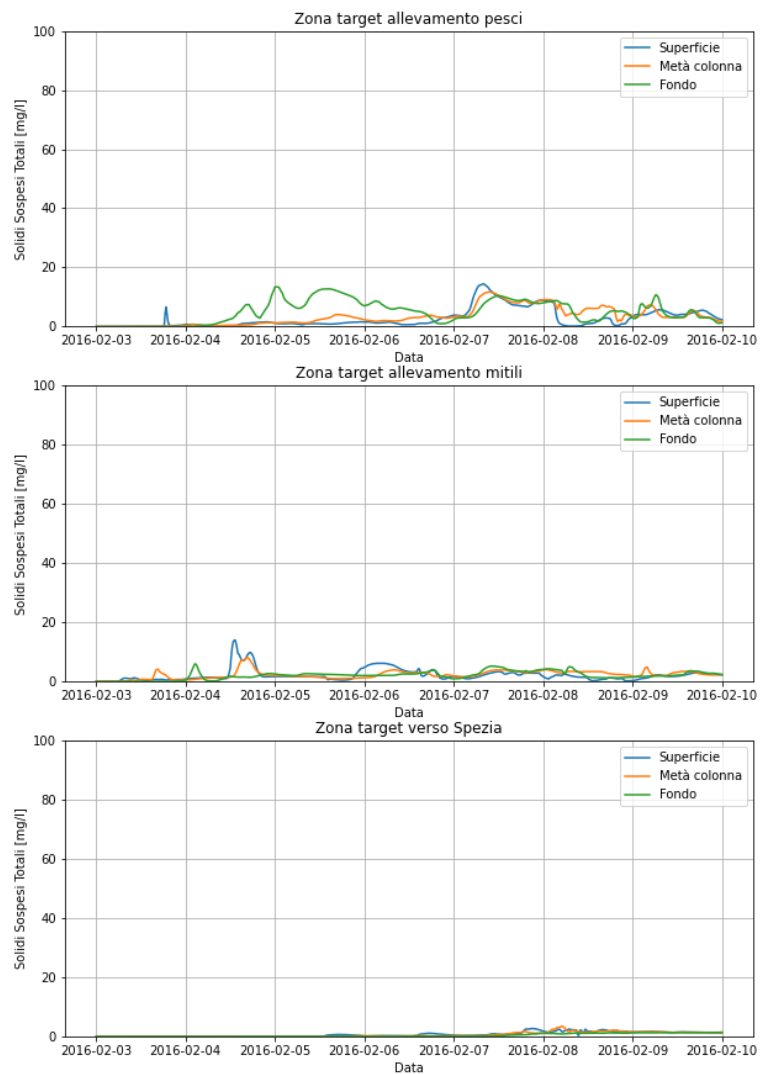
Simulazione_01_Rate-Ridotto_MT-mec-feb-area2



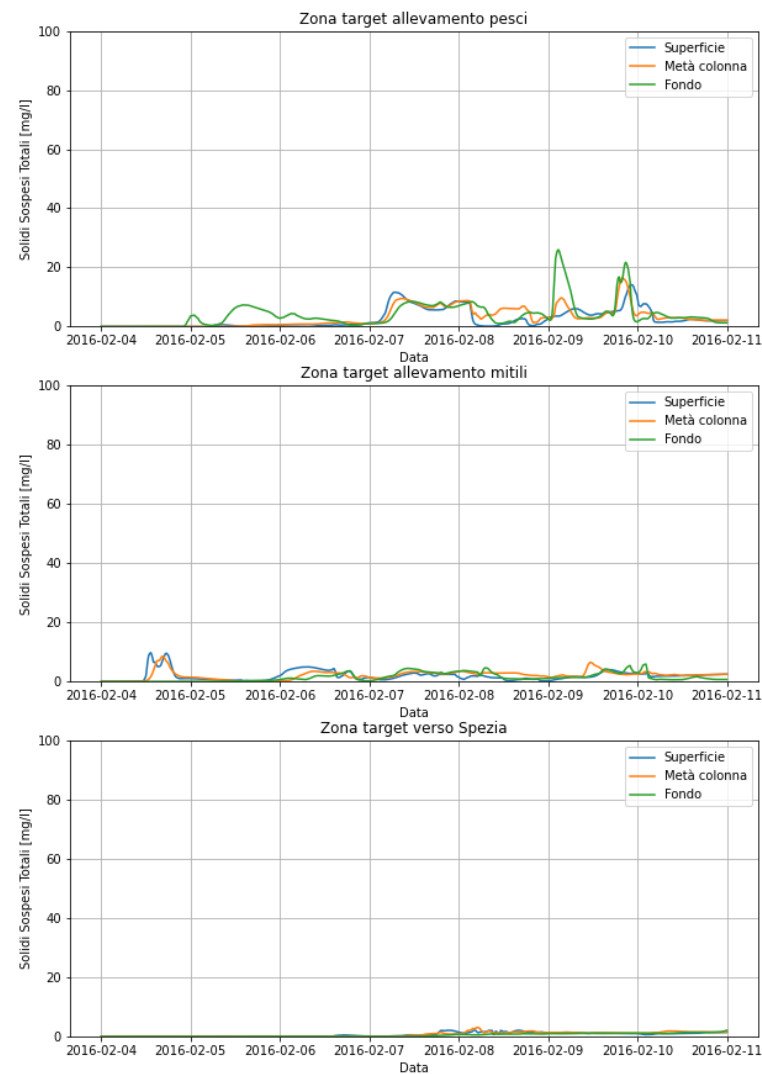
Simulazione_02_Rate-Ridotto_MT-mec-feb-area2



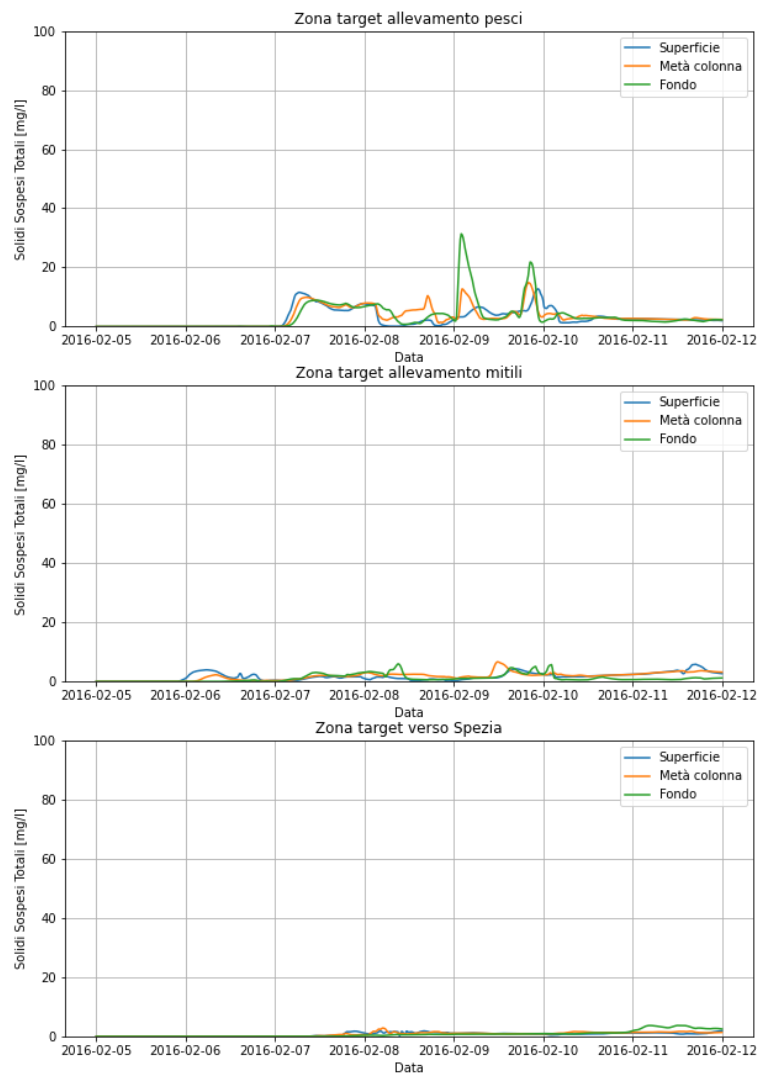
Simulazione_03_Rate-Ridotto_MT-mec-feb-area2



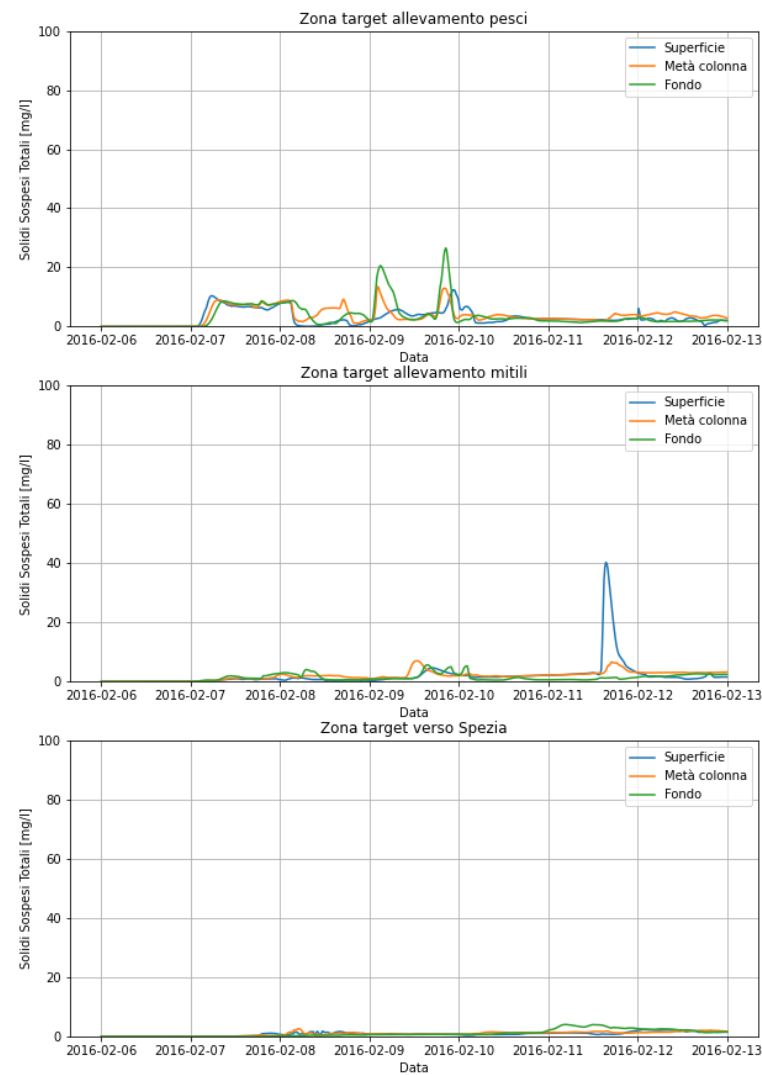
Simulazione_04_Rate-Ridotto_MT-mec-feb-area2



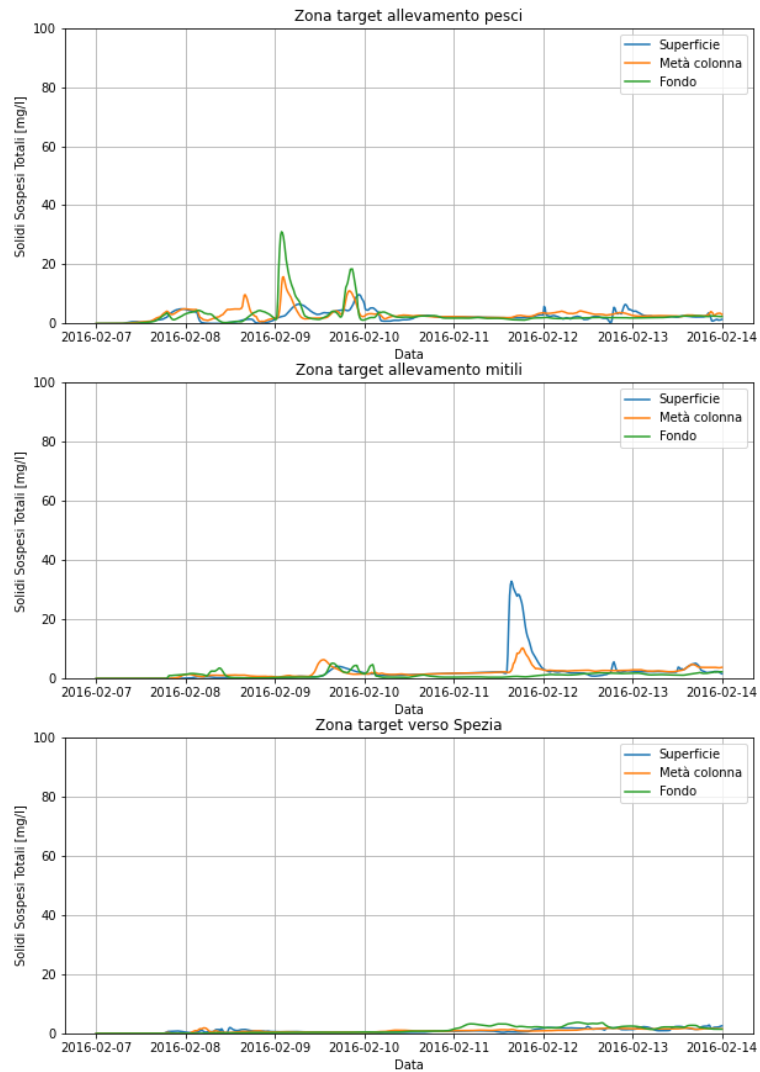
Simulazione_05_Rate-Ridotto_MT-mec-feb-area2



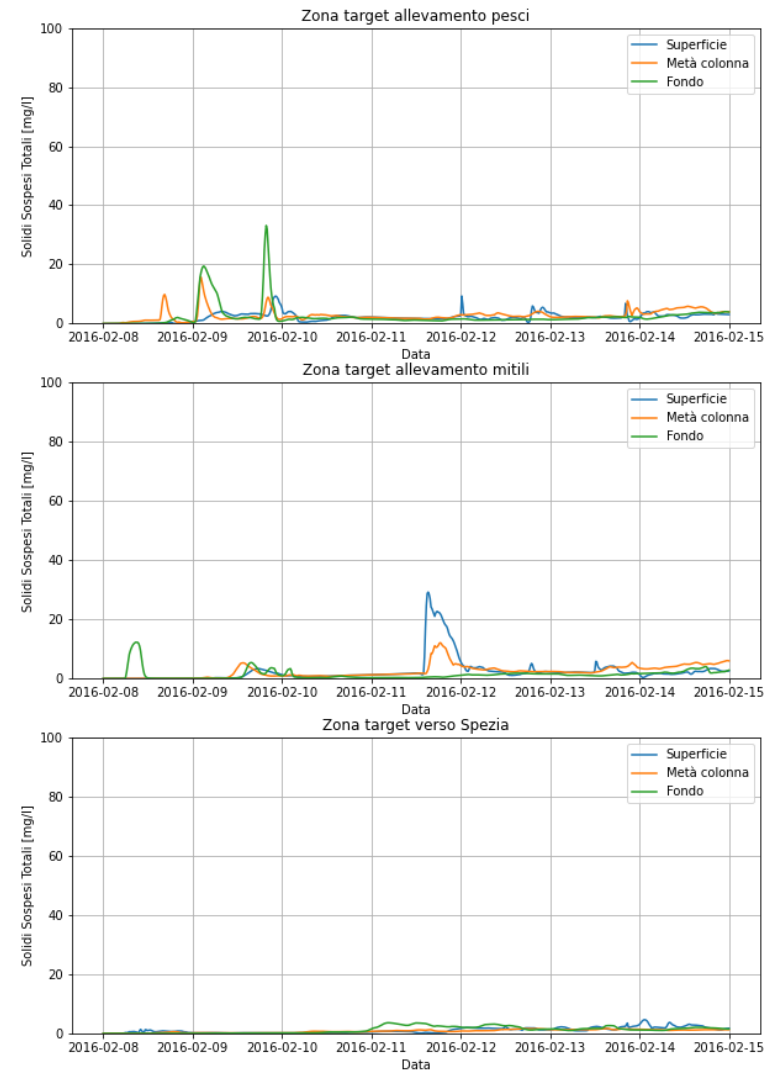
Simulazione_06_Rate-Ridotto_MT-mec-feb-area2



Simulazione_07_Rate-Ridotto_MT-mec-feb-area2



Simulazione_08_Rate-Ridotto_MT-mec-feb-area2



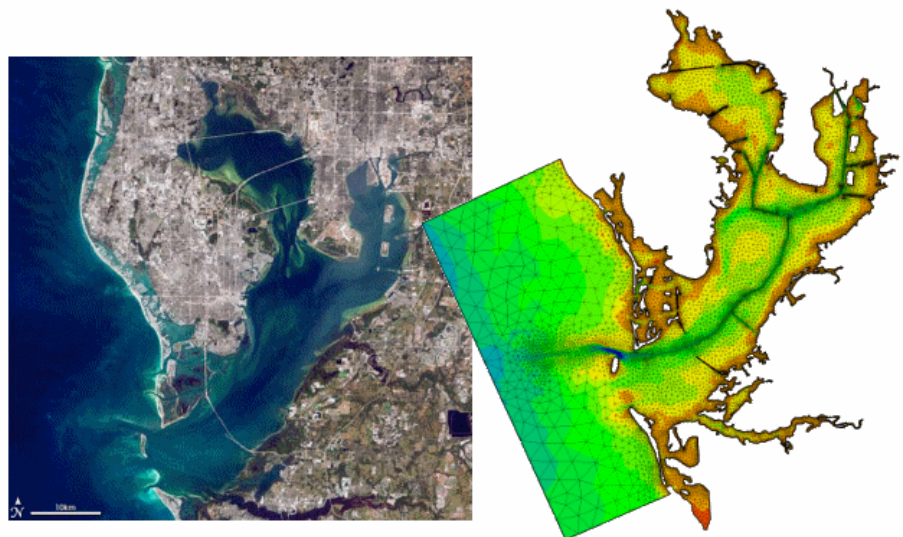
AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA
STUDIO PRELIMINARE AMBIENTALE

ai sensi dell'art. 19 del D.Lgs. 152/06 e s.m.i.

Annesso 8
Studio modellistico di dispersione dei sedimenti durante l'attività di dragaggio

ALLEGATO B
MIKE 3 Flow Model - Hydrodynamics

00	Emissione per Permessi	PP / MS	MS	NF	Marzo 2024
Rev.	Descrizione	Elaborato	Verificato	Approvato	Data



MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM

Hydrodynamic Module

Short Description



DHI headquarters

Agern Allé 5
DK-2970 Hørsholm
Denmark

+45 4516 9200 Telephone
+45 4516 9333 Support
+45 4516 9292 Telefax

mike@dhigroup.com
www.mikepoweredbydhi.com

MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM

The Flow Model FM is a comprehensive modelling system for two- and three-dimensional water modelling developed by DHI. The 2D and 3D models carry the same names as the classic DHI model versions MIKE 21 & MIKE 3 with an 'FM' added referring to the type of model grid - Flexible Mesh.

The modelling system has been developed for complex applications within oceanographic, coastal and estuarine environments. However, being a general modelling system for 2D and 3D free-surface flows it may also be applied for studies of inland surface waters, e.g. overland flooding and lakes or reservoirs.



MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM is a general hydrodynamic flow modelling system based on a finite volume method on an unstructured mesh

The Modules of the Flexible Mesh Series

DHI's Flexible Mesh (FM) series includes the following modules:

Flow Model FM modules

- Hydrodynamic Module, HD
- Transport Module, TR
- Ecology Modules, MIKE ECO Lab/AMB Lab
- Oil Spill Module, OS
- Mud Transport Module, MT
- Particle Tracking Module, PT
- Sand Transport Module, ST
- Shoreline Morphology Module, SM

Wave module

- Spectral Wave Module, SW

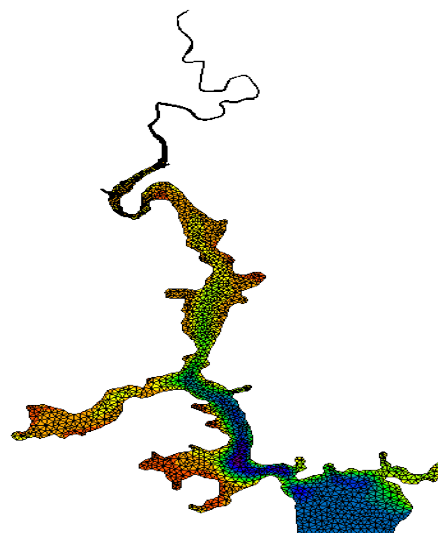
The FM Series meets the increasing demand for realistic representations of nature, both with regard to 'look alike' and to its capability to model coupled processes, e.g. coupling between currents, waves and sediments. Coupling of modules is managed in the Coupled Model FM.

All modules are supported by advanced user interfaces including efficient and sophisticated tools for mesh generation, data management, 2D/3D visualization, etc. In combination with comprehensive documentation and support, the FM series forms a unique professional software tool for consultancy services related to design, operation and maintenance tasks within the marine environment.

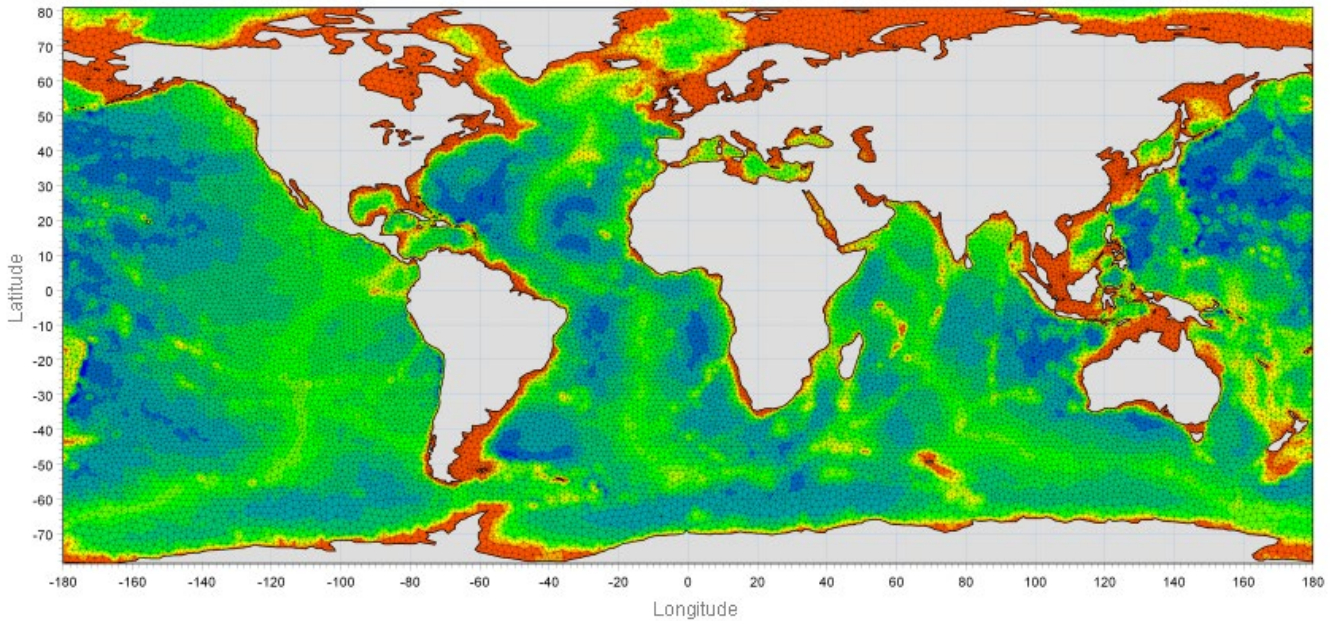
An unstructured grid provides an optimal degree of flexibility in the representation of complex geometries and enables smooth representations of boundaries. Small elements may be used in areas where more detail is desired, and larger elements used where less detail is needed, optimising information for a given amount of computational time.

The spatial discretisation of the governing equations is performed using a cell-centred finite volume method. In the horizontal plane, an unstructured grid is used while a structured mesh is used in the vertical domain (3D).

This document provides a short description of the Hydrodynamic Module included in MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM.



Example of computational mesh for Tamar Estuary, UK



MIKE 21 & MIKE 3 FLOW MODEL FM supports both Cartesian and spherical coordinates. Spherical coordinates are usually applied for regional and global sea circulation applications. The chart shows the computational mesh and bathymetry for the planet Earth generated by the MIKE Zero Mesh Generator

MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM - Hydrodynamic Module

The Hydrodynamic Module provides the basis for computations performed in many other modules, but can also be used alone. It simulates the water level variations and flows in response to a variety of forcing functions on flood plains, in lakes, estuaries and coastal areas.

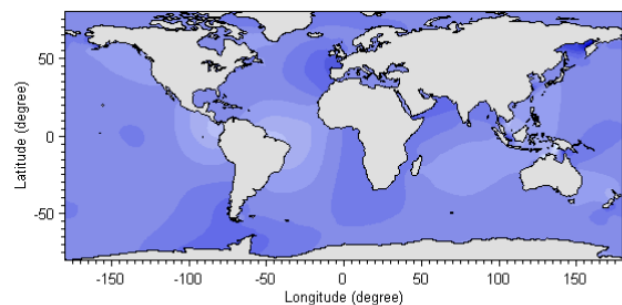
Application Areas

The Hydrodynamic Module included in MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM simulates unsteady flow taking into account density variations, bathymetry and external forcings.

The choice between 2D and 3D model depends on a number of factors. For example, in shallow waters, wind and tidal current are often sufficient to keep the water column well-mixed, i.e. homogeneous in salinity and temperature. In such cases a 2D model can be used. In water bodies with stratification, either by density or by species (ecology), a 3D model should be used. This is also the case for enclosed or semi-enclosed waters where wind-driven circulation occurs.

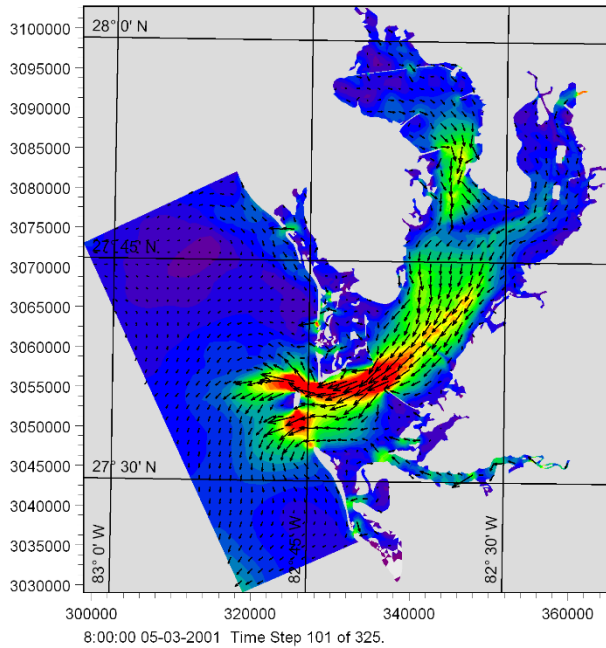
Typical application areas are

- Assessment of hydrographic conditions for design, construction and operation of structures and plants in stratified and non-stratified waters
- Environmental impact assessment studies
- Coastal and oceanographic circulation studies
- Optimization of port and coastal protection infrastructures
- Lake and reservoir hydrodynamics
- Cooling water, recirculation and desalination
- Coastal flooding and storm surge
- Inland flooding and overland flow modelling
- Forecast and warning systems

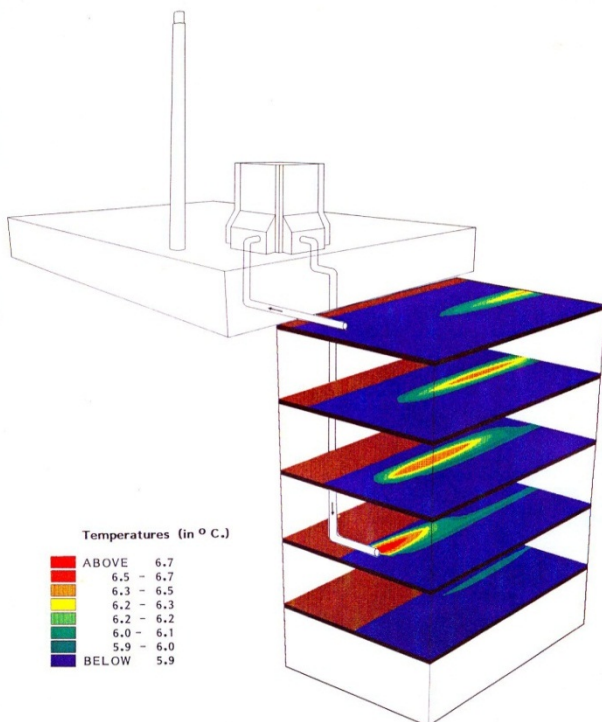


Example of a global tide application of MIKE 21 Flow Model FM. Results from such a model can be used as boundary conditions for regional scale forecast or hindcast models

The MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM also support spherical coordinates, which makes both models particularly applicable for global and regional sea scale applications.



Example of a flow field in Tampa Bay, Florida, simulated by MIKE 21 Flow Model FM

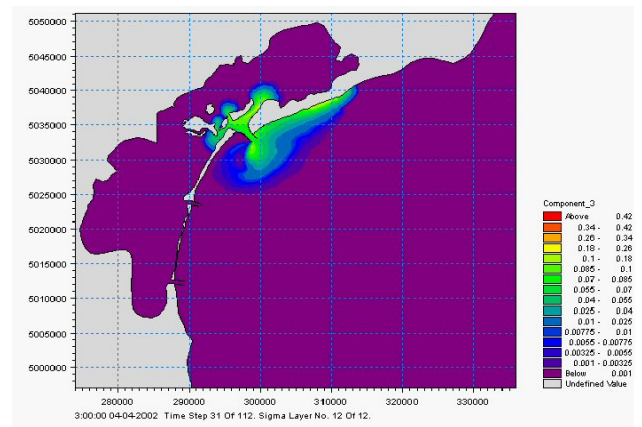


Study of thermal plume dispersion



Typical applications with the MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM include cooling water recirculation and ecological impact assessment (eutrophication)

The Hydrodynamic Module is together with the Transport Module (TR) used to simulate the spreading and fate of dissolved and suspended substances. This module combination is applied in tracer simulations, flushing and simple water quality studies.



Tracer simulation of single component from outlet in the Adriatic, simulated by MIKE 21 Flow Model FM HD+TR

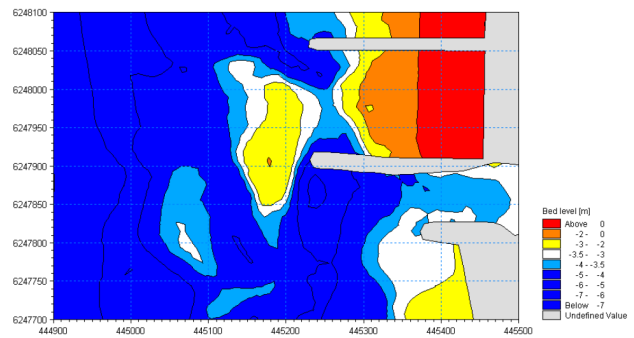


Prediction of ecosystem behaviour using the MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM together with MIKE ECO Lab

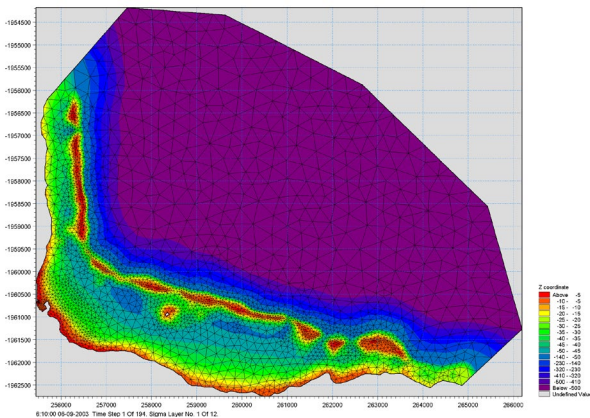
The Hydrodynamic Module can be coupled to the Ecological Module (MIKE ECO Lab) to form the basis for environmental water quality studies comprising multiple components.

Furthermore, the Hydrodynamic Module can be coupled to sediment models for the calculation of sediment transport. The Sand Transport Module and Mud Transport Module can be applied to simulate transport of non-cohesive and cohesive sediments, respectively.

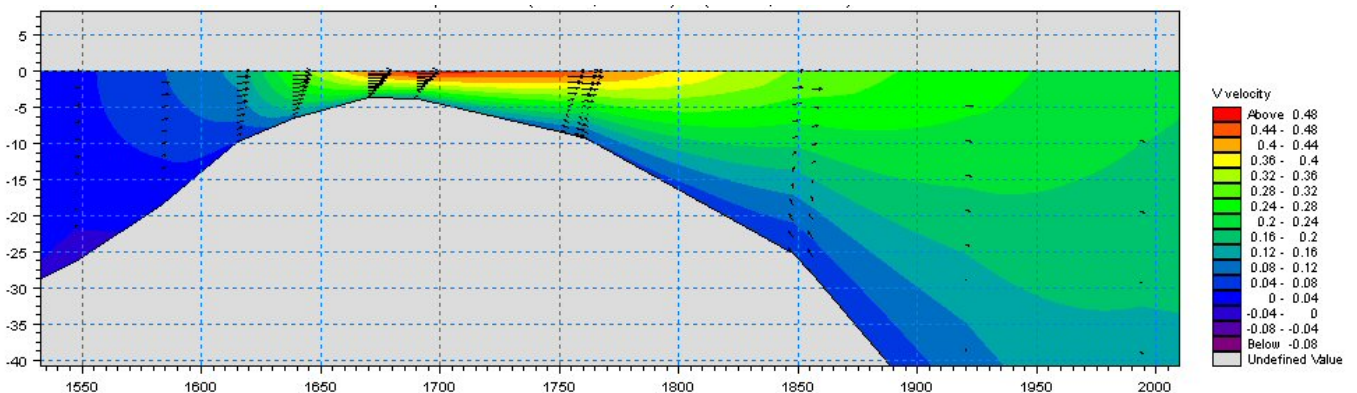
In the coastal zone the transport is mainly determined by wave conditions and associated wave-induced currents. The wave-induced currents are generated by the gradients in radiation stresses that occur in the surf zone. The Spectral Wave Module can be used to calculate the wave conditions and associated radiation stresses.



Coastal application (morphology) with coupled MIKE 21 HD, SW and ST, Torsminde harbour Denmark



Model bathymetry of Taravao Bay, Tahiti



Example of vertical profile of cross reef currents in Taravao Bay, Tahiti simulated with MIKE 3 Flow Model FM. The circulation and renewal of water inside the reef is dependent on the tides, the meteorological conditions and the cross reef currents, thus the circulation model includes the effects of wave induced cross reef currents

Computational Features

The main features and effects included in simulations with the MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM – Hydrodynamic Module are the following:

- Flooding and drying
- Momentum dispersion
- Bottom shear stress
- Coriolis force
- Wind shear stress
- Barometric pressure gradients
- Ice coverage
- Tidal potential
- Precipitation/evaporation
- Infiltration
- Heat exchange with atmosphere
- Wave radiation stresses
- Sources and sinks, incl. jet
- Structures

Model Equations

The modelling system is based on the numerical solution of the two/three-dimensional incompressible Reynolds averaged Navier-Stokes equations subject to the assumptions of Boussinesq and of hydrostatic pressure. Thus, the model consists of continuity, momentum, temperature, salinity and density equations and it is closed by a turbulent closure scheme. The density does not depend on the pressure, but only on the temperature and the salinity.

For the 3D model, the free surface is taken into account using a sigma-coordinate transformation approach or using a combination of a sigma and z-level coordinate system.

Below the governing equations are presented using Cartesian coordinates.

The local continuity equation is written as

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

and the two horizontal momentum equations for the x- and y-component, respectively

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u^2}{\partial x} + \frac{\partial vu}{\partial y} + \frac{\partial wu}{\partial z} = fv - g \frac{\partial \eta}{\partial x} -$$

$$\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial x} - \frac{g}{\rho_0} \int_z^\eta \frac{\partial \rho}{\partial x} dz + F_u + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_t \frac{\partial u}{\partial z} \right) + u_s S$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial v^2}{\partial y} + \frac{\partial uv}{\partial x} + \frac{\partial wv}{\partial z} = -fu - g \frac{\partial \eta}{\partial y} -$$

$$\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial y} - \frac{g}{\rho_0} \int_z^\eta \frac{\partial \rho}{\partial y} dz + F_v + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_t \frac{\partial v}{\partial z} \right) + v_s S$$

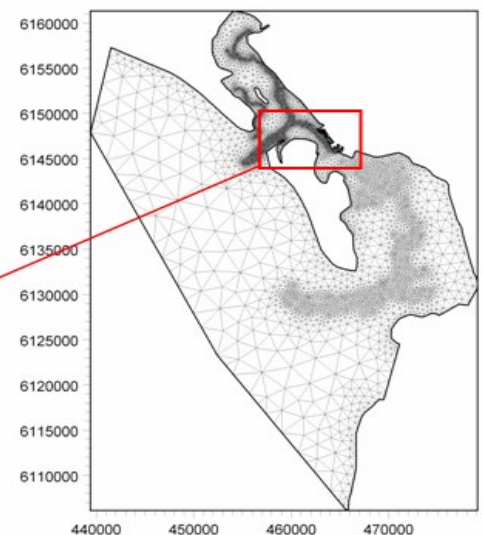
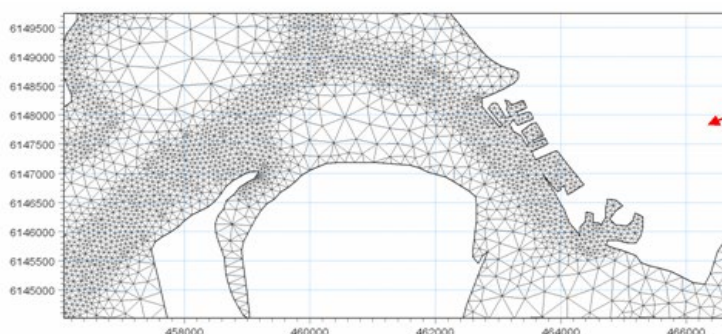
Temperature and salinity

In the Hydrodynamic Module, calculations of the transports of temperature, T , and salinity, s follow the general transport-diffusion equations as

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial uT}{\partial x} + \frac{\partial vT}{\partial y} + \frac{\partial wT}{\partial z} = F_T + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_v \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \bar{H} + T_s S$$

$$\frac{\partial s}{\partial t} + \frac{\partial us}{\partial x} + \frac{\partial vs}{\partial y} + \frac{\partial ws}{\partial z} = F_s + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_v \frac{\partial s}{\partial z} \right) + s_s S$$

Unstructured mesh technique gives the maximum degree of flexibility, for example: 1) Control of node distribution allows for optimal usage of nodes 2) Adoption of mesh resolution to the relevant physical scales 3) Depth-adaptive and boundary-fitted mesh. Below is shown an example from Ho Bay, Denmark with the approach channel to the Port of Esbjerg



The horizontal diffusion terms are defined by

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

The equations for two-dimensional flow are obtained by integration of the equations over depth.

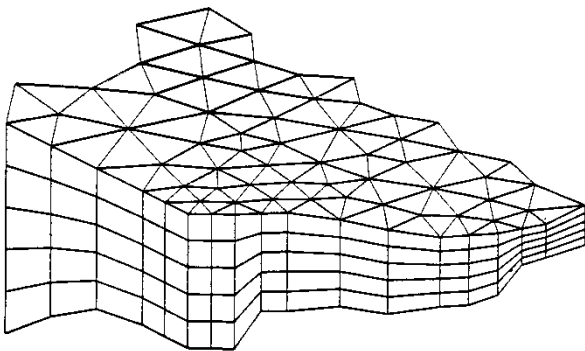
Heat exchange with the atmosphere is also included.

Symbol list

t	time
x, y, z	Cartesian coordinates
u, v, w	flow velocity components
T, s	temperature and salinity
D_v	vertical turbulent (eddy) diffusion coefficient
\hat{H}	source term due to heat exchange with atmosphere
S	magnitude of discharge due to point sources
T_s, s_s	temperature and salinity of source
F_T, F_s, F_c	horizontal diffusion terms
D_h	horizontal diffusion coefficient
h	depth

Solution Technique

The spatial discretisation of the primitive equations is performed using a cell-centred finite volume method. The spatial domain is discretised by subdivision of the continuum into non-overlapping elements/cells.



Principle of 3D mesh

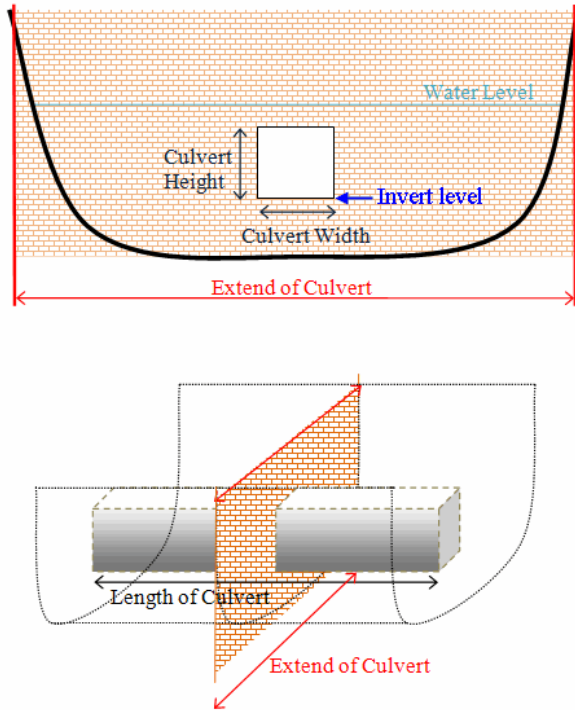
In the horizontal plane an unstructured mesh is used while a structured mesh is used in the vertical domain of the 3D model. In the 2D model the elements can be triangles or quadrilateral elements. In the 3D model the elements can be prisms or bricks whose horizontal faces are triangles and quadrilateral elements, respectively.

The effect of a number of structure types (weirs, culverts, dikes, gates, piers and turbines) with a horizontal dimension which usually cannot be resolved by the computational mesh is modelled by a subgrid technique.

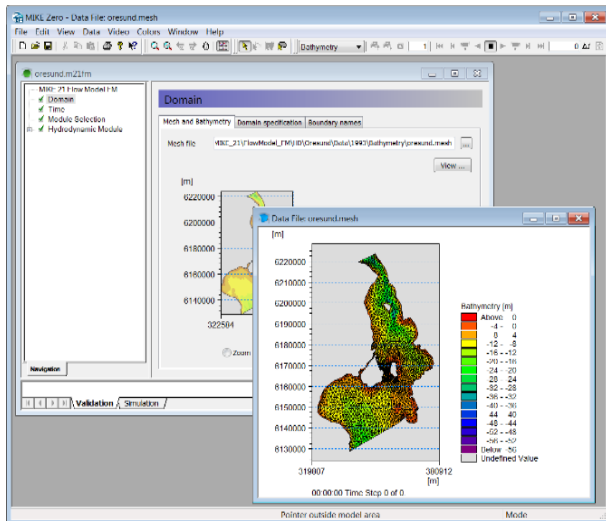
Model Input

Input data can be divided into the following groups:

- Domain and time parameters:
 - computational mesh (the coordinate type is defined in the computational mesh file) and bathymetry
 - simulation length and overall time step
- Calibration factors
 - bed resistance
 - momentum dispersion coefficients
 - wind friction factors
 - heat exchange coefficients
- Initial conditions
 - water surface level
 - velocity components
 - temperature and salinity
- Boundary conditions
 - closed
 - water level
 - discharge
 - temperature and salinity
- Other driving forces
 - wind speed and direction
 - tide
 - source/sink discharge
 - wave radiation stresses
- Structures
 - Structure type
 - location
 - structure data

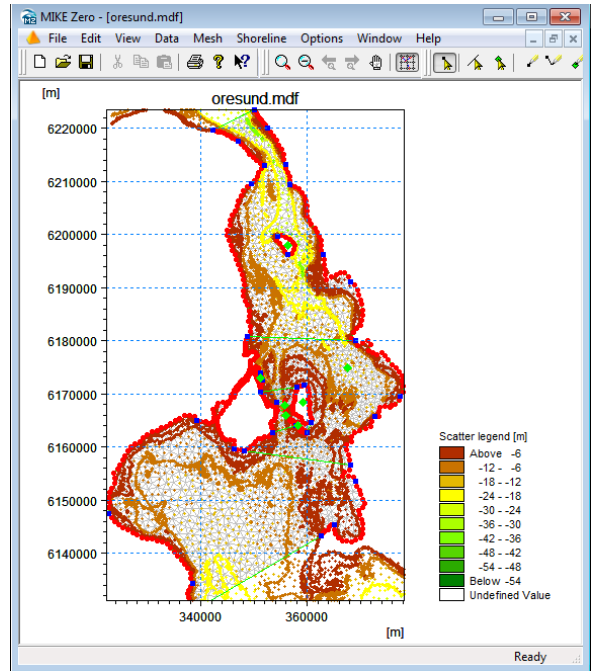


Setup definition of culvert structure



View button on all the GUIs in MIKE 21 & MIKE 3 FM HD for graphical view of input and output files

Providing MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM with a suitable mesh is essential for obtaining reliable results from the models. Setting up the mesh includes the appropriate selection of the area to be modelled, adequate resolution of the bathymetry, flow, wind and wave fields under consideration and definition of codes for defining boundaries.

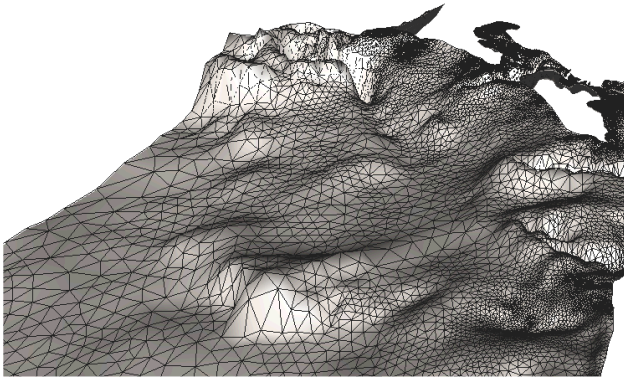


The Mesh Generator is an efficient MIKE Zero tool for the generation and handling of unstructured meshes, including the definition and editing of boundaries



2D visualization of a computational mesh (Odense Estuary)

Bathymetric values for the mesh generation can e.g. be obtained from the MIKE Powered by DHI product MIKE C-Map. MIKE C-Map is an efficient tool for extracting depth data and predicted tidal elevation from the world-wide Electronic Chart Database CM-93 Edition 3.0 from C-MAP Norway.

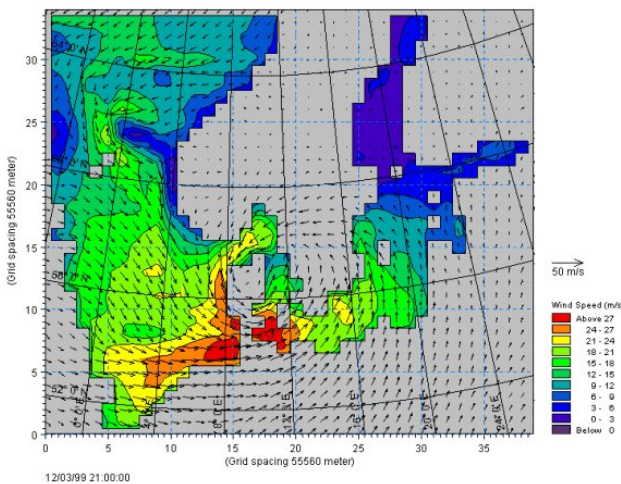


3D visualization of a computational mesh

If wind data is not available from an atmospheric meteorological model, the wind fields (e.g. cyclones) can be determined by using the wind-generating programs available in MIKE 21 Toolbox.

Global winds (pressure & wind data) can be downloaded for immediate use in your simulation. The sources of data are from GFS courtesy of NCEP, NOAA. By specifying the location, orientation and grid dimensions, the data is returned to you in the correct format as a spatial varying grid series or a time series. The link is:

<http://www.waterforecast.com/hindcastdataproducs>



The chart shows a hindcast wind field over the North Sea and Baltic Sea as wind speed and wind direction

Model Output

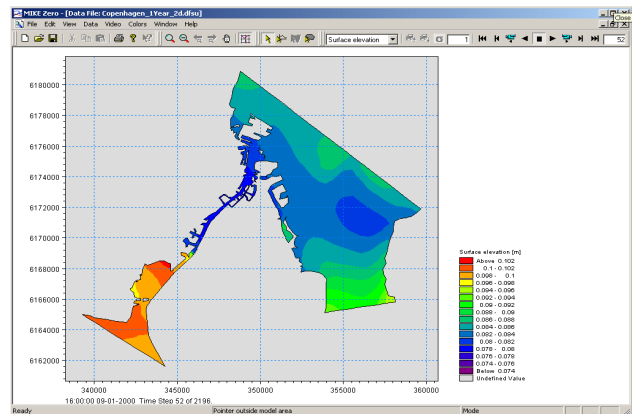
Computed output results at each mesh element and for each time step consist of:

- Basic variables
 - water depths and surface elevations
 - flux densities in main directions
 - velocities in main directions
 - densities, temperatures and salinities

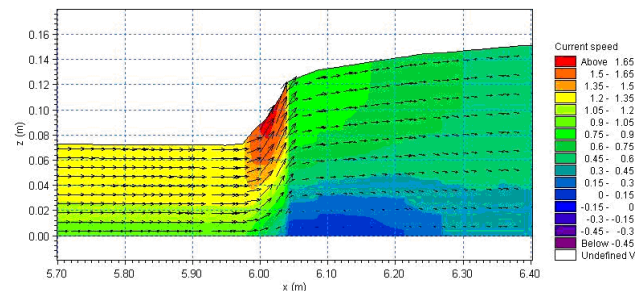
- Additional variables
 - Current speed and direction
 - Wind velocity
 - Air pressure
 - Drag coefficient
 - Precipitation/evaporation
 - Courant/CFL number
 - Eddy viscosity
 - Element area/volume

The output results can be saved in defined points, lines and areas. In the case of 3D calculations, the results are saved in a selection of layers.

Output from MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM is typically post-processed using the Data Viewer available in the common MIKE Zero shell. The Data Viewer is a tool for analysis and visualization of unstructured data, e.g. to view meshes, spectra, bathymetries, results files of different format with graphical extraction of time series and line series from plan view and import of graphical overlays.



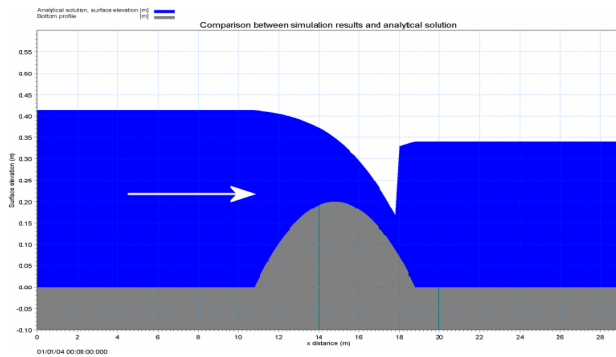
The Data Viewer in MIKE Zero – an efficient tool for analysis and visualization of unstructured data including processing of animations. Above screen dump shows surface elevations from a model setup covering Port of Copenhagen



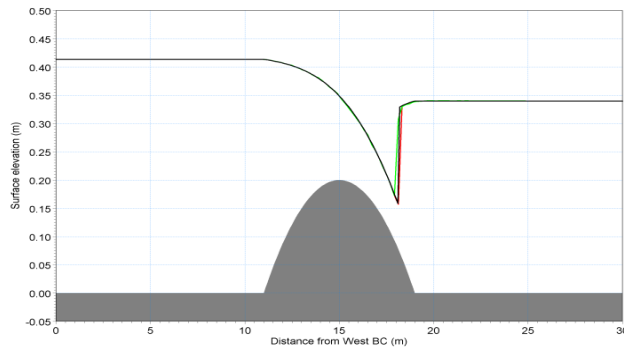
Vector and contour plot of current speed at a vertical profile defined along a line in Data Viewer in MIKE Zero

Validation

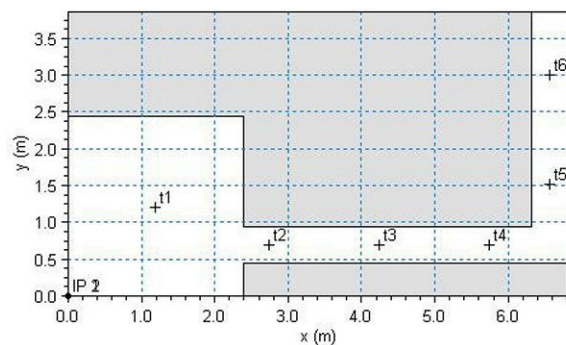
Prior to the first release of MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM in year 2003 the model has successfully been applied to a number of basic idealized situations for which the results can be compared with analytical solutions or information from the literature.



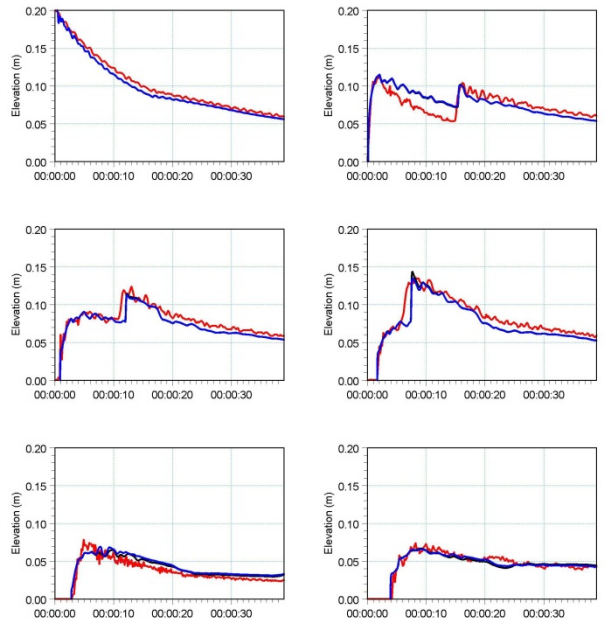
The domain is a channel with a parabola-shaped bump in the middle. The upstream (western) boundary is a constant flux and the downstream (eastern) boundary is a constant elevation. Below: the total depths for the stationary hydraulic jump at convergence. Red line: 2D setup, green line: 3D setup, black line: analytical solution



A dam-break flow in an L-shaped channel (a, b, c):

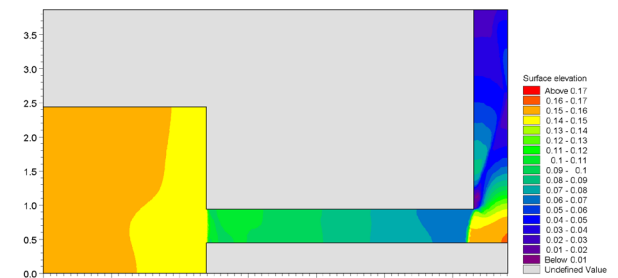
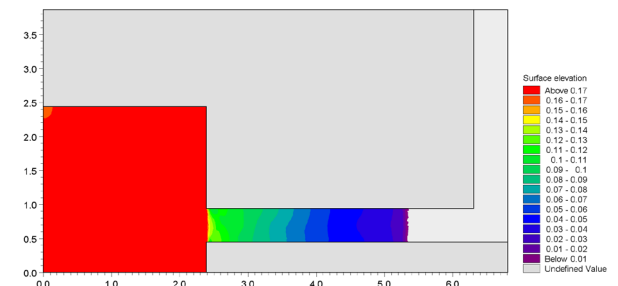


a) Outline of model setup showing the location of gauging points



b) Comparison between simulated and measured water levels at the six gauge locations. (Blue) coarse mesh solution (black) fine mesh solution and (red) measurements

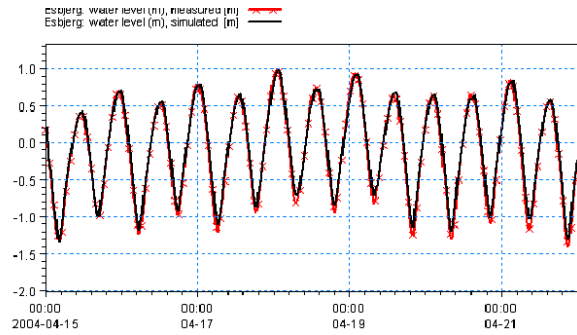
The model has also been applied and tested in numerous natural geophysical conditions; ocean scale, inner shelves, estuaries, lakes and overland, which are more realistic and complicated than academic and laboratory tests.



c) Contour plots of the surface elevation at T = 1.6 s (top) and T = 4.8 s (bottom)



Example from Ho Bay, a tidal estuary (barrier island coast) in South-West Denmark with access channel to the Port of Esbjerg.



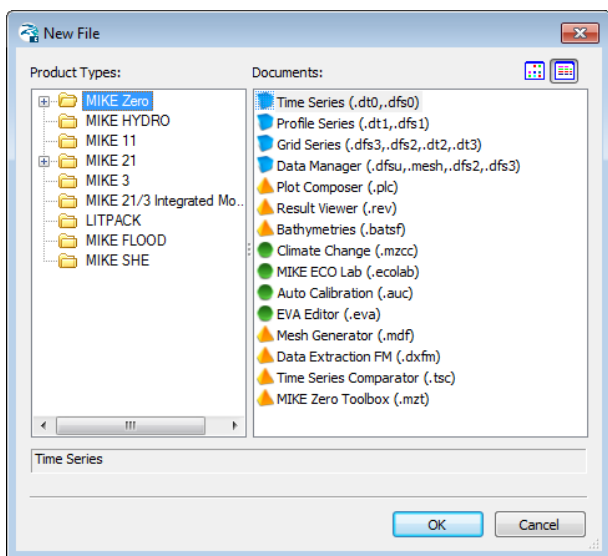
Comparison between measured and simulated water levels

The user interface of the MIKE 21 and MIKE 3 Flow Model FM (Hydrodynamic Module), including an example of the extensive Online Help system

Graphical User Interface

The MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM Hydrodynamic Module is operated through a fully Windows integrated graphical user interface (GUI). Support is provided at each stage by an Online Help system.

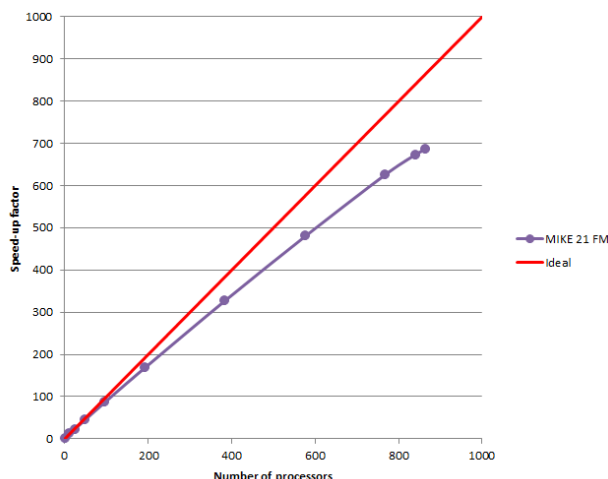
The common MIKE Zero shell provides entries for common data file editors, plotting facilities and utilities such as the Mesh Generator and Data Viewer.



Overview of the common MIKE Zero utilities

Parallelisation

The computational engines of the MIKE 21 & MIKE 3 FM series are available in versions that have been parallelised using both shared memory as well as distributed memory architecture. The latter approach allows for domain decomposition. The result is much faster simulations on systems with multiple cores. It is also possible to use a graphics card (GPU) to perform computational intensive hydrodynamic computations.



Example of MIKE 21 HD FM speed-up using a HPC Cluster with distributed memory architecture (purple)

Hardware and Operating System Requirements

The MIKE Zero Modules support Microsoft Windows 7 Professional Service Pack 1 (64 bit), Windows 10 Pro (64 bit), Windows Server 2012 R2 Standard (64 bit) and Windows Server 2016 Standard (64 bit).

Microsoft Internet Explorer 9.0 (or higher) is required for network license management. An internet browser is also required for accessing the web-based documentation and online help.

The recommended minimum hardware requirements for executing the MIKE Zero modules are:

Processor:	3 GHz PC (or higher)
Memory (RAM):	2 GB (or higher)
Hard disk:	40 GB (or higher)
Monitor:	SVGA, resolution 1024x768
Graphics card:	64 MB RAM (256 MB RAM or higher is recommended)
Graphics card:	1 GB RAM (or higher).
(for GPU computation)	requires a NVIDIA graphics card with compute capability 2.0 or higher

Support

News about new features, applications, papers, updates, patches, etc. are available here:

www.mikepoweredbydhi.com/Download/DocumentsAndTools.aspx

For further information on MIKE 21 and MIKE 3 Flow Model FM software, please contact your local DHI office or the support centre:

MIKE Powered by DHI Client Care
Agern Allé 5
DK-2970 Hørsholm
Denmark

Tel: +45 4516 9333

Fax: +45 4516 9292

mike@dhigroup.com

www.mikepoweredbydhi.com

Further Reading

Petersen, N.H., Rasch, P. "Modelling of the Asian Tsunami off the Coast of Northern Sumatra", presented at the 3rd Asia-Pacific DHI Software Conference in Kuala Lumpur, Malaysia, 21-22 February, 2005

French, B. and Kerper, D. Salinity Control as a Mitigation Strategy for Habitat Improvement of Impacted Estuaries. 7th Annual EPA Wetlands Workshop, NJ, USA 2004.

DHI Note, "Flood Plain Modelling using unstructured Finite Volume Technique" January 2004 – download from

<http://www.theacademybydhi.com/research-and-publications/scientific-publications>

Documentation

The MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM models are provided with comprehensive user guides, online help, scientific documentation, application examples and step-by-step training examples.



AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA
STUDIO PRELIMINARE AMBIENTALE

ai sensi dell'art. 19 del D.Lgs. 152/06 e s.m.i.

Annesso 8
Studio modellistico di dispersione dei sedimenti durante l'attività di dragaggio

ALLEGATO C
MIKE 3 MT – Mud Transport

00	Emissione per Permessi	PP / MS	MS	NF	Marzo 2024
Rev.	Descrizione	Elaborato	Verificato	Approvato	Data



MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM

Mud Transport Module

Short Description



DHI headquarters

Agern Allé 5
DK-2970 Hørsholm
Denmark

+45 4516 9200 Telephone
+45 4516 9333 Support
+45 4516 9292 Telefax

mike@dhigroup.com
www.mikepoweredbydhi.com

MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM – Mud Transport Module

This document describes the Mud Transport Module (MT) under the comprehensive modelling system for two- and three-dimensional flows, the Flexible Mesh series, developed by DHI.

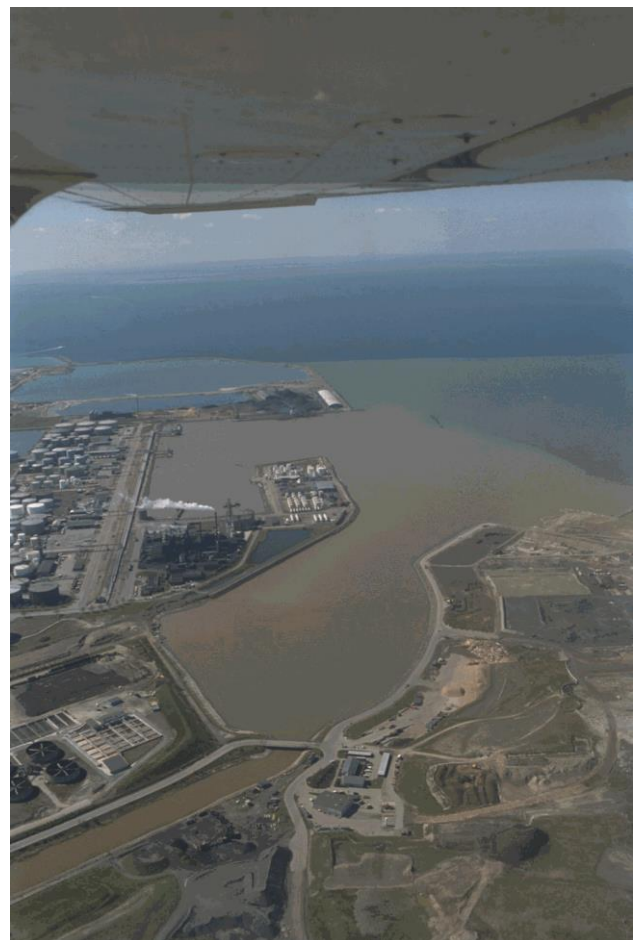
The MT module includes a state-of-the-art mud transport model that simulates the erosion, transport, settling and deposition of cohesive sediment in marine, brackish and freshwater areas. The module also takes into account fine-grained non-cohesive material.



Example of spreading of dredged material in Øresund, Denmark

The MT module is an add-on module to MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM. It requires a coupling to the hydrodynamic solver and to the transport solver for passive components (Advection Dispersion module). The hydrodynamic basis is obtained with the MIKE 21 or MIKE 3 FM HD module. The influence of waves on the erosion/deposition patterns can be included by applying the Spectral Wave module, MIKE 21 FM SW.

With the FM series it is possible to combine and run the modules dynamically. If the morphological changes within the area of interest are within the same order of magnitude as the variation in the water depth, then it is possible to take the morphological impact on the hydrodynamics into consideration. This option for dynamic feedback between update of seabed and flow may be relevant to apply in shallow areas, for example, where long term effects are being considered. Furthermore, it may be relevant in shallow areas where capital or considerable maintenance dredging is planned and similarly at sites where disposal of the dredged material takes place.

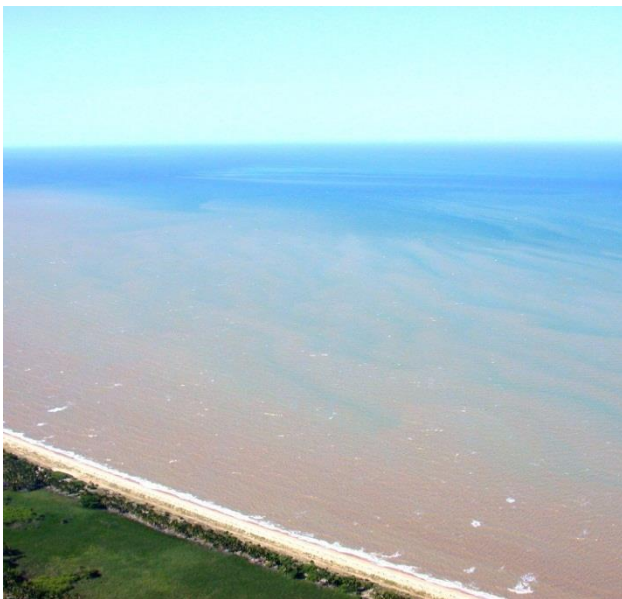


Example of sediment plume from a river near Malmö, Sweden

Application Areas

The MT module is used in a variety of cases where the erosion, dispersion, and deposition of cohesive sediments are of interest. Fine-grained sediment may cause impacts in different ways. In suspension, the fines may shadow areas over a time span, which can be critical for the survival of light-depending benthic fauna and flora. The fine-grained sediment may deposit in areas where deposition is unwanted, for instance in harbour inlets.

Furthermore, pollutants such as heavy metals and TBT are prone to adhere to the cohesive sediment. If polluted sediment is deposited in ecologically sensitive areas it may heavily affect local flora and fauna and water quality in general.



Example of resuspension in the nearshore zone. Caravelas, Brazil. Assessment of resuspension may be relevant in, for example, dredging projects to identify sources and levels of background turbidity

The estimation of siltation rates is an area where the MT module often is applied and also an important aspect to consider when designing new approach channels or deepening existing channels to allow access for larger vessels to the ports. Simulations of fine-grained sediment dynamics may contribute to optimise the design with regard to navigation and manoeuvrability on one hand and minimising the need for maintenance dredging on the other.

The MT module has many application areas and some of the most frequently used are listed below:

- Dispersion of dredged material
- Optimisation of dredging operations
- Siltation of harbours
- Siltation in access channels
- Cohesive sediment dynamics and morphology
- Dispersion of river plumes
- Erosion of fine-grained material under combined waves and currents
- Sediment laden gravity flows and turbidity currents
- Studies of dynamics of contaminated sediments

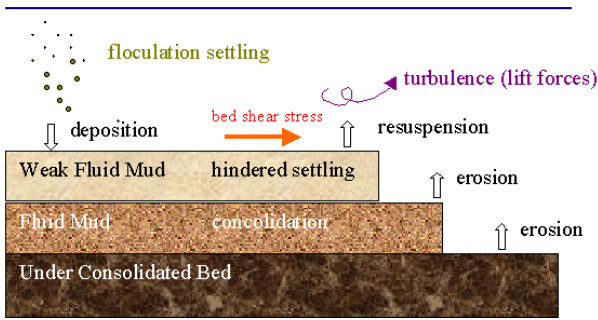


Example of muddy estuary. Caravelas, Brazil

Computational Features

The main features of the MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM Mud Transport module are:

- Multiple sediment fractions
- Multiple bed layers
- Flocculation
- Hindered settling
- Inclusion of non-cohesive sediments
- Bed shear stress from combined currents and waves
- Waves included as wave database or 2D time series
- Consolidation
- Morphological update of bed
- Tracking of sediment spills



Example of modelled physical processes

Model Equations

The governing equations behind the MT module are essentially based on Mehta et al. (1989). The impact of waves is introduced through the bed shear stress. The cohesive sediment transport module or mud transport (MT) module deals with the movement of mud in a fluid and the interaction between the mud and the bed.

The transport of the mud is generally described by the following equation (e.g. Teisson, 1991):

$$\frac{\partial c^i}{\partial t} + \frac{\partial uc^i}{\partial x} + \frac{\partial vc^i}{\partial y} + \frac{\partial wc^i}{\partial z} - \frac{\partial w_s c^i}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\nu_{Tx}}{\sigma_{Tx}^i} \frac{\partial c^i}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\nu_{Ty}}{\sigma_{Ty}^i} \frac{\partial c^i}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\nu_{Tz}}{\sigma_{Tz}^i} \frac{\partial c^i}{\partial z} \right) + S^i$$

The transport of the cohesive sediment is handled by a transport solver for passive components (AD-module). The settling velocity w_s is a sedimentological process and as such it is described separately with the extra term $\frac{\partial w_s c^i}{\partial z}$ using an operator splitting technique.

Symbol list

t	time
x, y, z	Cartesian co-ordinates
u, v, w	flow velocity components
D_v	vertical turbulent (eddy) diffusion coefficient
c^i	the i 'th scalar component (defined as the mass concentration)
w_s^i	fall velocity
σ_{Tx}^i	turbulent Schmidt number
ν_{Tx}	anisotropic eddy viscosity
S^i	source term

The bed interaction/update and the settling velocity terms are handled in the MT module.

The sedimentological effects on the fluid density and viscosity (concentrated near-bed suspensions) are not considered as part of the mud process module. Instead they are provided as separate sub-modules as they are only relevant for higher suspended sediment concentrations (SSC).



Mud plains in Loire River, France

Settling velocity

The settling velocity of the suspended sediment may be specified as a constant value. Flocculation is described as a relationship with the suspended sediment concentration as given in Burt (1986). Hindered settling can be applied if the suspended sediment concentration exceeds a certain level. To distinguish between three different settling regimes, two boundaries are defined, c_{floc} and $c_{hindered}$, being the concentrations where flocculation and hindered settling begins, respectively.

Constant settling velocity

Below a certain suspended sediment concentration the flocculation may be negligible and a constant settling velocity can be applied:

$$w_s = k \quad c < c_{floc}$$

where w_s is the settling velocity and k is the constant.

Flocculation

After reaching c_{floc} , the sediment will begin to flocculate. Burt (1986) found the following relationship:

$$w_s = k \times \left(\frac{c}{\rho_{sediment}} \right)^\gamma \quad c_{floc} > c > c_{hindered}$$

In which k is a constant, $\rho_{sediment}$ is the sediment density, and γ is a coefficient termed settling index.

Hindered settling

After a relatively high sediment concentration ($C_{hindered}$) is reached, the settling columns of flocs begin to interfere and hereby reducing the settling velocity. Formulations given by Richardson and Zaki (1954) and Winterwerp (1999) are implemented.

Deposition

The deposition is described as (Krone, 1962):

$$S_D = w_s c_b P_D$$

where w_s is the settling velocity of the suspended sediment ($m\ s^{-1}$), c_b is the suspended sediment concentration near the bed, and p_d is an expression of the probability of deposition:

$$p_d = 1 - \frac{\tau_b}{\tau_{cd}}$$

In the three-dimensional model, c_b is simply equal to the sediment concentration in the water cell just above the sediment bed.

In the two-dimensional model, two different approaches are available for computing c_b . If the Rouse profile is applied, the near bed sediment concentration is related to the depth averaged sediment concentration by multiplying with a constant centroid height:

$$c_b = \bar{c} \times (\text{centroid height})$$

Teeter (1986) related the near bed concentrations to the Peclet number (P_e), the bed fluxes, and the depth averaged suspended sediment concentrations. In this case, the near bed sediment concentration is described as:

$$c_b = \bar{c} \times \left(1 + \left(\frac{P_e}{1.25 + 4.75(p_d^{2.5})} \right) \right)$$

where P_e is the Peclet number:

$$P_e = \frac{w_s h}{D_z}$$

where h is the water depth, D_z is the eddy diffusivity, both computed by the hydrodynamic model.

Erosion

Erosion features the following two modes.

Hard bed

For a consolidated bed the erosion rate can be written as (Partheniades, 1965):

$$S_E = E \left(\frac{\tau_b}{\tau_{ce}} - 1 \right)^n \quad \tau_b > \tau_c$$

Where E is the erodibility ($kg\ m^{-2}\ s^{-1}$), n is the power of erosion, τ_b is the bed shear stress ($N\ m^{-2}$) and τ_{ce} is the critical shear stress for erosion ($N\ m^{-2}$). S_E is the erosion rate ($kg\ m^{-2}\ s^{-1}$).

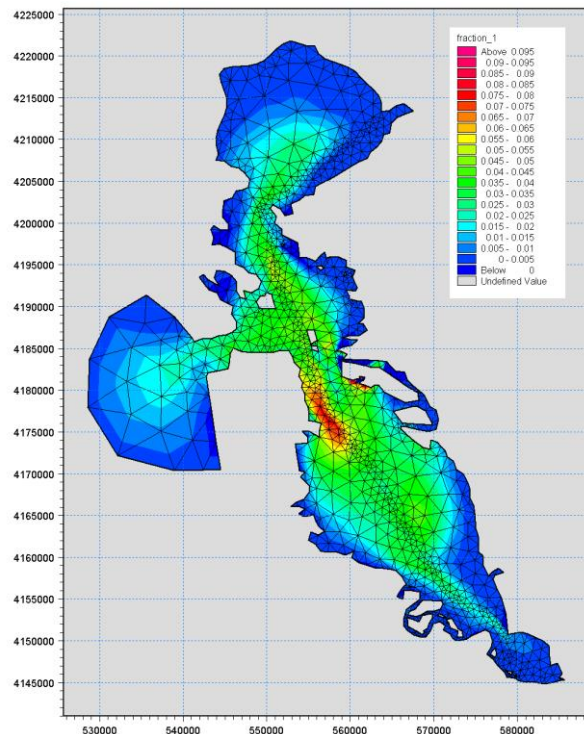
Soft bed

For a soft, partly consolidated bed the erosion rate can be written as (Parchure and Mehta, 1985):

$$S_E = E \left(e^{\alpha \sqrt{\tau_b - \tau_c}} \right) \quad \tau_b > \tau_c$$

Consolidation

When long term simulations are performed consolidation of deposited sediment may be an important process. If several bed layers are used a transition rate (T_i) can be applied. This will cause sediment from the top layers to be transferred to the subsequently lower layers.



The MT module is a tool for estuary sediment management in complex estuaries like San Francisco bay, California, USA

Solution Technique

The solution of the transport equations is closely linked to the solution of the hydrodynamic conditions.

The spatial discretisation of the primitive equations is performed using a cell-centred finite volume method. The spatial domain is discretised by subdivision of the continuum into non-overlapping elements/cells. In the horizontal plane an unstructured grid is used while in the vertical domain in the 3D model a structured mesh is used. In the 2D model the elements can be triangles or quadrilateral elements. In the 3D model the elements can be prisms or bricks whose horizontal faces are triangles and quadrilateral elements, respectively.

The time integration is performed using an explicit scheme.

Model Input

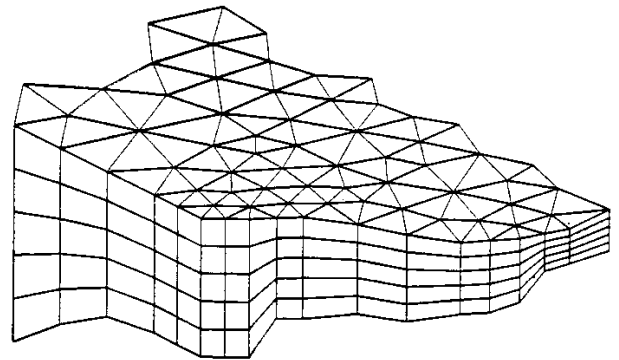
The generic nature of cohesive sediment dynamics reveals a numerical model that will always call for tremendous field work or calibration due to measurements performed. The following input parameters have to be given:

- Settling velocity
- Critical shear stress for erosion
- Critical shear stress for deposition
- Erosion coefficients
- Power of erosion
- Suspended sediment
- Concentration at open boundaries
- Dispersion coefficients
- Thickness of bed layers or estimate of total amount of active sediment in the system
- Transition coefficients between bed layers
- Dry density of bed layers

Model Output

The main output possibilities are listed below:

- Suspended sediment concentrations in space and time
- Sediment in bed layers given as masses or heights
- Net sedimentation rates
- Computed bed shear stress
- Computed settling velocities
- Updated bathymetry



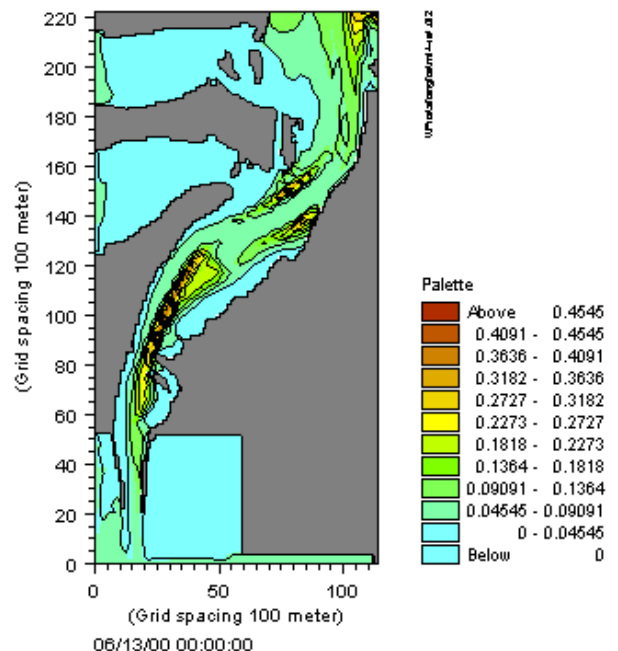
Principle of 3D mesh

Validation

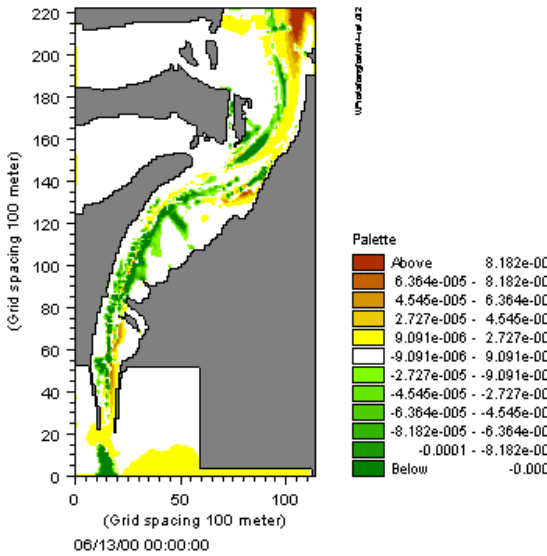
The model engine is well proven in numerous studies throughout the world:

The Rio Grande estuary, Brazil

In 2001, the model was applied for a 3D study in the Rio Grande estuary (Brazil). The study focused on a number of hydrodynamic issues related to changing the Rio Grande Port layout. In addition the possible changes in sedimentation patterns and dredging requirements were investigated.

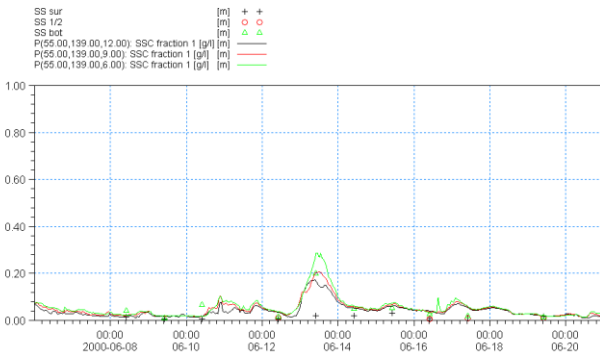


SSC in surface layer (kg/m³), Rio Grande, Brazil



Instantaneous erosion ($\text{kg/m}^2/\text{s}$), Rio Grande, Brazil

The figure below shows the most common calibration parameter, which is the suspended sediment concentration (SSC). The results are reasonable given the large uncertainties connected with mud transport modelling.



Suspended sediment concentrations, Rio Grande, Brazil

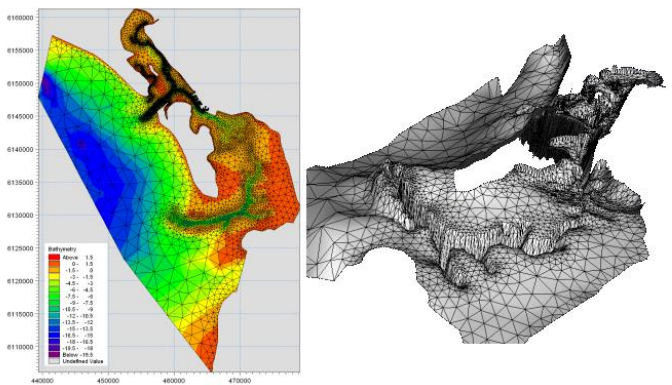
The Graadyb tidal inlet, Denmark

The MT module has also been used in the Graadyb tidal inlet located in the Danish part of the Wadden Sea. In this area, the highest tidal range reaches 1.7 m at springs, but the storm surge in the area can be as high as 2-4 metres.

The maximum current in the navigation channel leading to the harbour of Esbjerg is in the range of 1-2 m/s. The depth in the channel is 10-12 m at mean sea level.

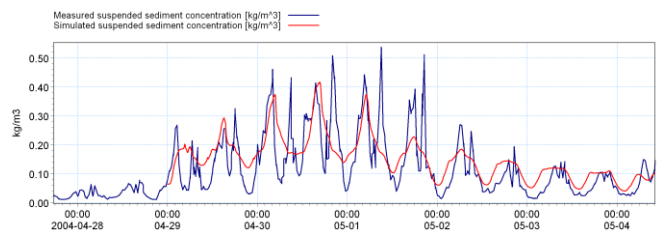


Graadyb tidal inlet (Skallingen), Denmark

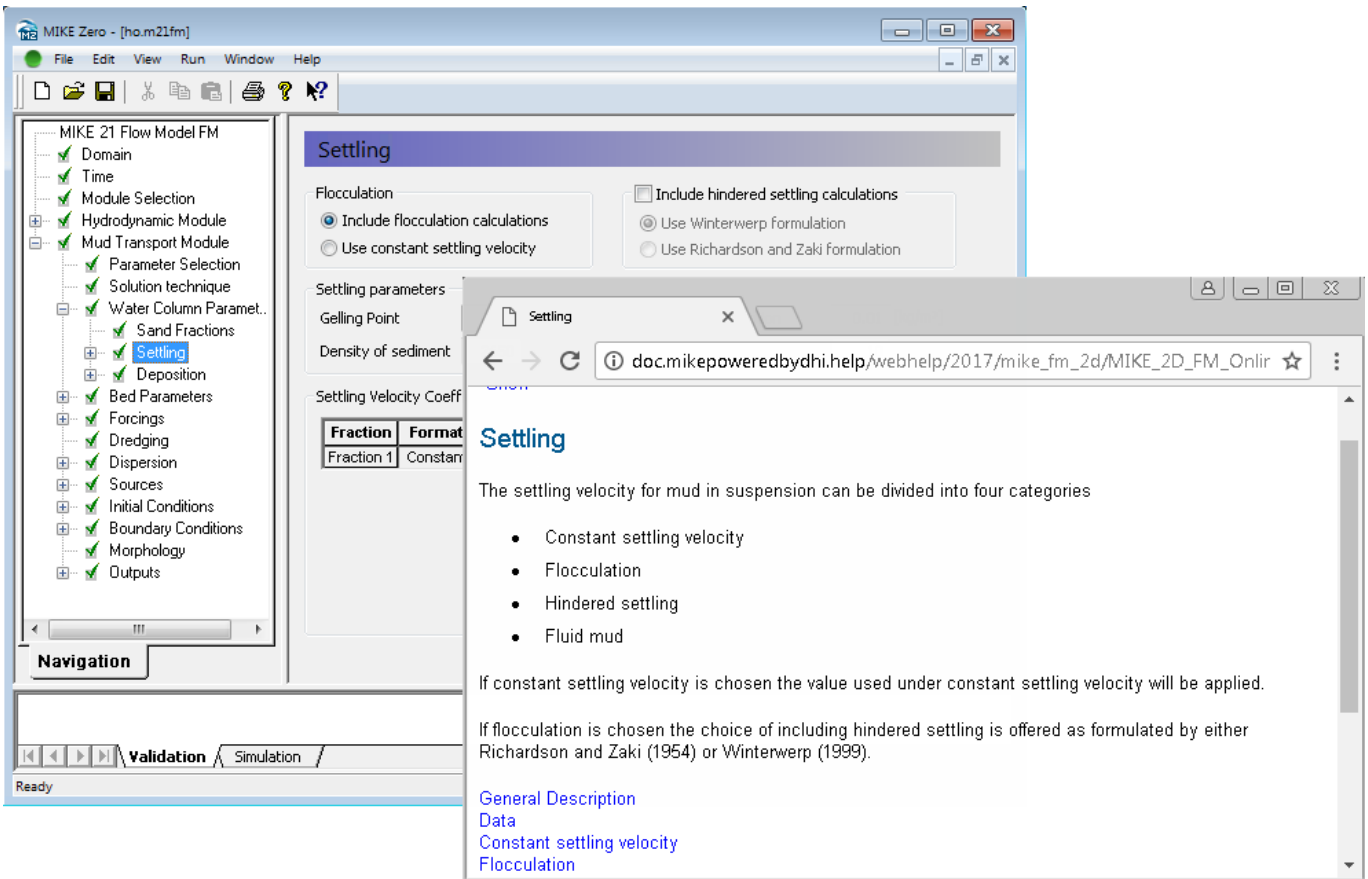


Bathymetry and computational mesh for the Graadyb tidal inlet, Denmark

A comparison between measured and simulated SSC time series is shown below. The overall comparison is excellent.



Comparison between measured and simulated suspended sediment concentrations, Graadyb tidal inlet, Denmark

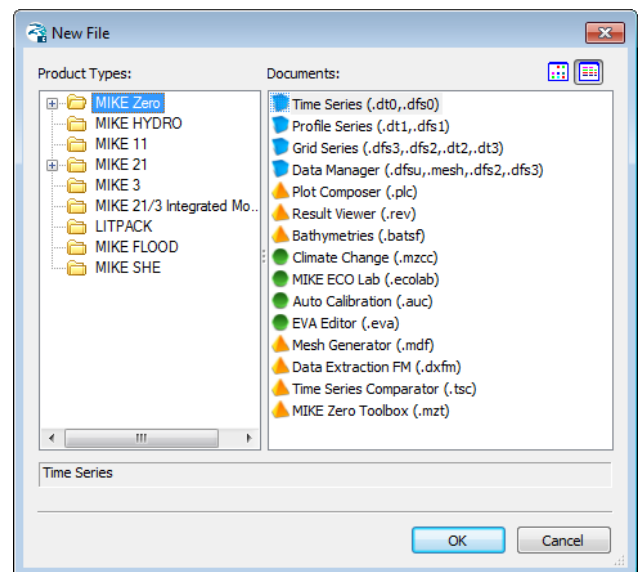


Graphical user interface of the MIKE 21 Flow Model FM, Mud Transport Module, including an example of the Online Help System

Graphical User Interface

The MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM, Mud Transport Module is operated through a fully Windows integrated Graphical User Interface (GUI). Support is provided at each stage by an Online Help System.

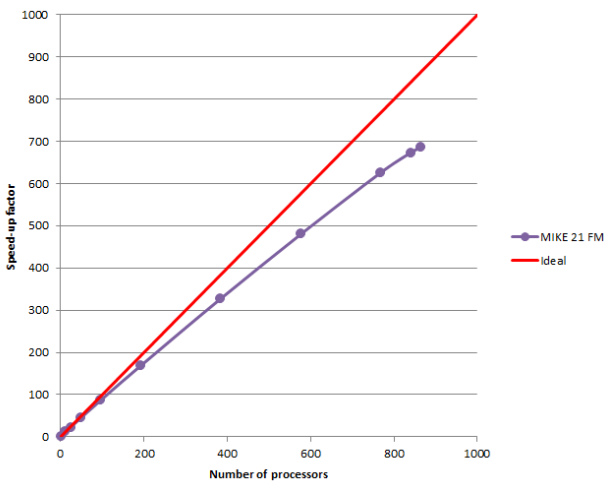
The common MIKE Zero shell provides entries for common data file editors, plotting facilities and a toolbox for/utilities as the Mesh Generator and Data Viewer.



Overview of the common MIKE Zero utilities

Parallelisation

The computational engines of the MIKE 21/3 FM series are available in versions that have been parallelised using both shared memory as well as distributed memory architecture. The latter approach allows for domain decomposition. The result is much faster simulations on systems with many cores.



Example of MIKE 21 HD FM speed-up using a HPC Cluster with distributed memory architecture (purple)

Hardware and Operating System Requirements

The MIKE Zero Modules support Microsoft Windows 7 Professional Service Pack 1 (64 bit), Windows 10 Pro (64 bit), Windows Server 2012 R2 Standard (64 bit) and Windows Server 2016 Standard (64 bit).

Microsoft Internet Explorer 9.0 (or higher) is required for network license management. An internet browser is also required for accessing the web-based documentation and online help.

The recommended minimum hardware requirements for executing the MIKE Zero modules are:

Processor:	3 GHz PC (or higher)
Memory (RAM):	2 GB (or higher)
Hard disk:	40 GB (or higher)
Monitor:	SVGA, resolution 1024x768
Graphics card:	64 MB RAM (256 MB RAM or higher is recommended)

Support

News about new features, applications, papers, updates, patches, etc. are available here:

www.mikepoweredbydhi.com/Download/DocumentsAndTools.aspx

For further information on MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM software, please contact your local DHI office or the support centre:

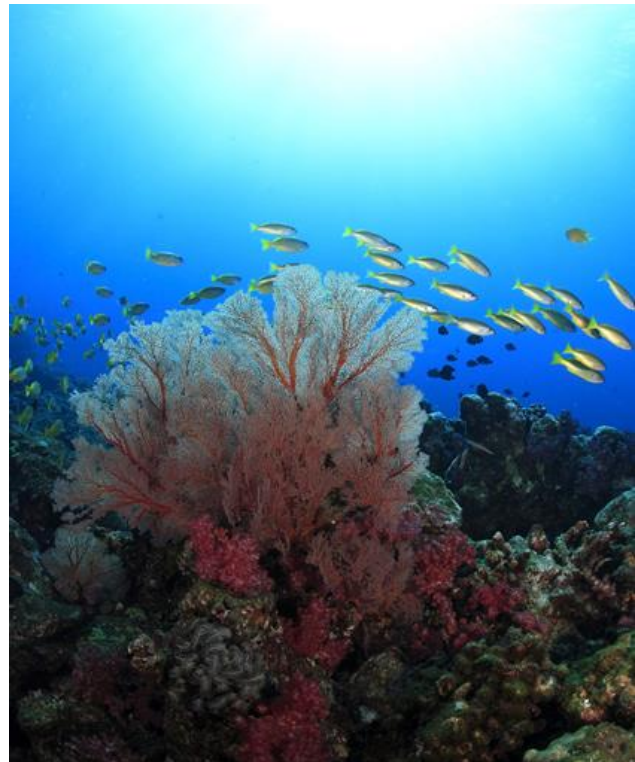
MIKE Powered by DHI Client Care
Agern Allé 5
DK-2970 Hørsholm
Denmark

Tel: +45 4516 9333
Fax: +45 4516 9292

mike@dhigroup.com
www.mikepoweredbydhi.com

Documentation

The MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM models are provided with comprehensive user guides, online help, scientific documentation, application examples and step-by-step training examples.



References

- Burt, N., 1986. Field settling velocities of estuary muds. In: *Estuarine Cohesive Sediment Dynamics*, edited by Mehta, A.J. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo, 126–150.
- Krone, R.B., 1962. Flume Studies of the Transport of Sediment in Estuarine Shoaling Processes. Final Report to San Francisco District U. S. Army Corps of Engineers, Washington D.C.
- Mehta, A.J., Hayter, E.J., Parker, W.R., Krone, R.B. and Teeter, A.M., 1989. Cohesive sediment transport. I: Process description. *Journal of Hydraulic Engineering – ASCE* 115 (8), 1076–1093.
- Parchure, T.M. and Mehta, A.J., 1985. Erosion of soft cohesive sediment deposits. *Journal of Hydraulic Engineering – ASCE* 111 (10), 1308–1326.
- Partheniades, E., 1965. Erosion and deposition of cohesive soils. *Journal of the hydraulics division Proceedings of the ASCE* 91 (HY1), 105–139.
- Richardson, J.F and Zaki, W.N., 1954. Sedimentation and fluidization, Part I, *Transactions of the institution Chemical Engineers* 32, 35–53.
- Teeter, A.M., 1986. Vertical transport in fine-grained suspension and newly deposited sediment. In: *Estuarine Cohesive Sediment Dynamics*, edited by Mehta, A.J. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo, 170–191.
- Teisson, C., 1991. Cohesive suspended sediment transport: feasibility and limitations of numerical modelling. *Journal of Hydraulic Research* 29 (6), 755–769.
- Winterwerp, J.C., 1999. “Flocculation and settling velocity”, TU delft. pp 10-17.

References on applications

- Edelvang, K., Lund-Hansen, L.C., Christiansen, C., Petersen, O.S., Uhrenholdt, T., Laima, M. and Berastegui, D.A., 2002. Modelling of suspended matter transport from the Oder River. *Journal of Coastal Research* 18 (1), 62–74.
- Lumborg, U., Andersen, T.J. and Pejrup, M., 2006. The effect of *Hydrobia ulvae* and microphytobenthos on cohesive sediment dynamics on an intertidal mudflat described by means of numerical modelling. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 68 (1-2), 208–220.
- Lumborg, U. and Pejrup, M., 2005. Modelling of cohesive sediment transport in a tidal lagoon – An annual budget. *Marine Geology* 218 (1-4), 1–16.
- Petersen, O. and Vested, H.J., 2002. Description of vertical exchange processes in numerical mud transport modelling. In: *Fine Sediment Dynamics in the Marine Environment*, edited by Winterwerp, J.C. and Kranenburg, C. Elsevier, Amsterdam, 375–391.
- Petersen, O., Vested, H.J., Manning, A.J., Christie, M. and Dyer, K., 2002. Numerical modelling of mud transport processes in the Tamar Estuary. In: *Fine Sediment Dynamics in the Marine Environment*, edited by Winterwerp, J.C. and Kranenburg, C. Elsevier, Amsterdam, 643–654.
- Valeur, J.R., 2004. Sediment investigations connected with the building of the Øresund bridge and tunnel. *Danish Journal of Geography* 104 (2), 1–12.

