

## PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA

CUP 84831683B1

CIG C31H20000060001

RIF. PERIZIA

2879 FASE 2

### TITOLO PROGETTO

**Adeguamento alle norme in materia di sicurezza dei luoghi di lavoro, nonché la razionalizzazione dell'accessibilità dell'area portuale industriale di Genova Sestri Ponente**

COD. OPERA	DESCRIZIONE OPERA
N	GENERALE

ELAB. N°	TITOLO ELABORATO	SCALA
Mp004	Studio idrodinamico della circolazione e del ricambio idrico all'interno del bacino di Sestri Ponente	-

REVISIONE	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VISTO	APPROVATO
A	19/07/2021	PRIMA EMISSIONE	P. Letizia	C. Scarpa	T. Tassi

CODICE PROGETTO	CODICE ELABORATO	NOME FILE
2879-F2	GEN-Mp004	2879-F2_GEN-Mp004_A.doc

PROGETTISTI	PROGETTAZIONE	COORD. PROGETTUALE E SUPP. TECNICO-GESTIONALE
<p>R.T.I.:</p> <p>Mandataria:  Responsabilità dell'integrazione delle prestazioni specialistiche Dott. Ing. Tommaso Tassi</p> <p>Mandante:    </p>	<p>Dott. Ing. Tommaso Tassi</p> 	<p>RINA Consulting S.p.A.</p> 

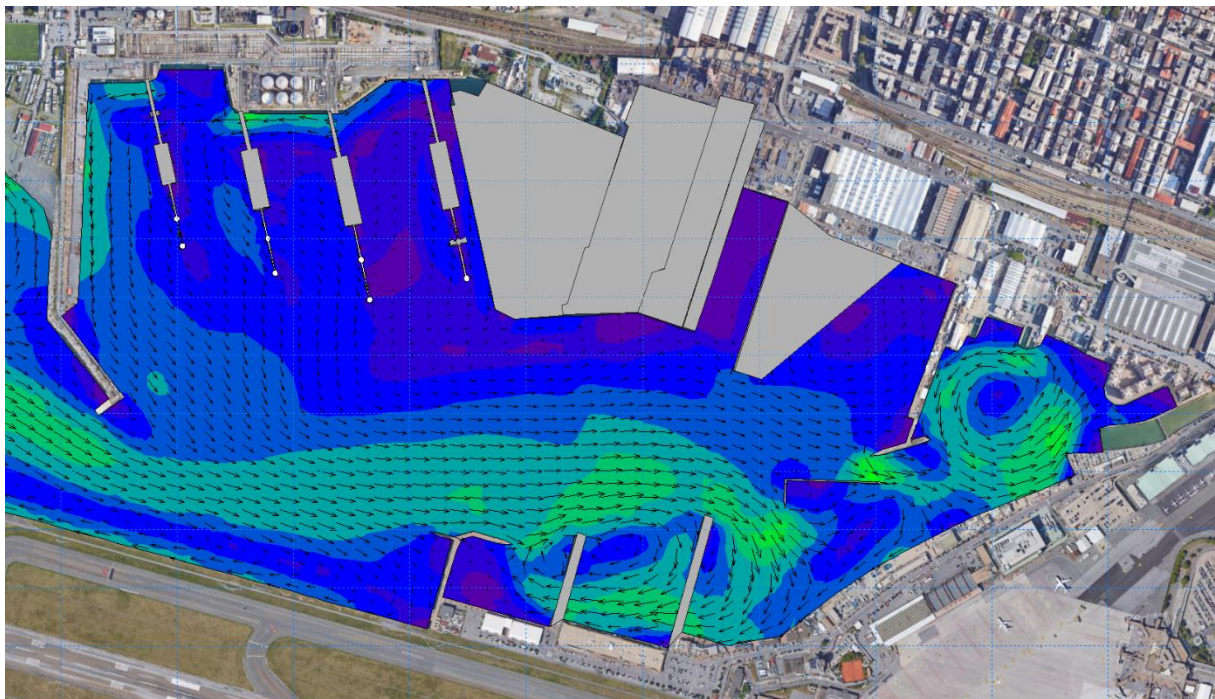
D.E.C.	VERIFICATORE	VALIDATO R.U.P.	IL RESP. DELL'ATTUAZIONE
Geom. Simone Bruzzese	R.T. Conteco Check S.r.l. RINA Check S.r.l.	Ing. Marco Vaccari	Dott. Umberto Benezoli
.....	.....	.....	.....



# Progetto di Fattibilità Tecnico Economica per l'adeguamento alle norme in materia di sicurezza dei luoghi di lavoro, nonché la razionalizzazione dell'accessibilità dell'area portuale industriale di Genova Sestri Ponente

Studio della circolazione e del ricambio idrico  
all'interno del bacino di Sestri Ponente

Relazione tecnica



F&M Ingegneria S.p.a.

Relazione

Giugno 2021

This report has been prepared under the DHI Business Management System certified by Bureau Veritas to comply with ISO 9001 (Quality Management)

ISO 9001  
Management System Certification

BUREAU VERITAS  
Certification Denmark A/S



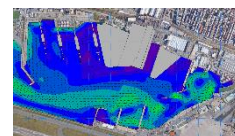
# Progetto di Fattibilità Tecnico Economica per l'adeguamento alle norme in materia di sicurezza dei luoghi di lavoro, nonché la razionalizzazione dell'accessibilità dell'area portuale industriale di Genova Sestri Ponente

Studio della circolazione e del ricambio idrico  
all'interno del bacino di Sestri Ponente

Relazione tecnica

Committente F&M Ingegneria S.p.a.

Referente del Committente ing. Chiara Scarpa



*Esempio di campo idrodinamico nel bacino di Sestri Ponente*

Project manager	Paola Letizia
Quality supervisor	Andrea Pedroncini
Author	Paola Letizia

Codice progetto - elaborato	22803493
Data di approvazione	30.06.2021
Emissione	1.0
Classificazione	Open



## INDICE

<b>1</b>	<b>Premessa .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Approccio metodologico .....</b>	<b>1</b>
<b>3</b>	<b>Area di studio e layout di progetto.....</b>	<b>2</b>
<b>4</b>	<b>Descrizione ed analisi dei dati disponibili .....</b>	<b>4</b>
4.1	Dati di vento .....	4
4.2	Dati di livello della superficie marina.....	10
4.3	Dati relativi ai corsi d'acqua .....	12
4.4	Dati batimetrici .....	15
<b>5</b>	<b>Modello di circolazione .....</b>	<b>16</b>
5.1	Selezione degli scenari di simulazione .....	17
5.2	Dominio di calcolo e batimetria .....	18
5.3	Risultati delle simulazioni .....	20
5.3.1	Scenario di marea .....	20
5.3.2	Scenari di vento .....	24
5.3.3	Scenario di portata fluviale.....	34
<b>6</b>	<b>Modello del ricambio idrico del bacino.....</b>	<b>37</b>
6.1	Selezione dei periodi di simulazione.....	38
6.2	Dominio di calcolo e batimetria .....	39
6.3	Risultati del modello idrodinamico .....	39
6.4	Risultati del modello di ricambio idrico.....	39
<b>7</b>	<b>Conclusioni.....</b>	<b>47</b>
<b>8</b>	<b>Riferimenti .....</b>	<b>48</b>



## ALLEGATI

### **ALLEGATO A**

MIKE 21/3 Hydrodynamics (HD)

### **ALLEGATO B**

MIKE 21/3 Advection-Dispersion (AD)



## 1 Premessa

Il presente documento illustra le attività modellistiche predisposte a supporto della redazione del “Progetto di Fattibilità Tecnico Economica per l’adeguamento alle norme in materia di sicurezza dei luoghi di lavoro, nonché la razionalizzazione dell’accessibilità dell’area portuale industriale di Genova Sestri Ponente”.

L’obiettivo dello studio è la simulazione delle condizioni idrodinamiche all’interno del bacino di Sestri Ponente, in riferimento alla configurazione di progetto del bacino, messa a disposizione da F&M Ingegneria.

In particolare, viene studiata la circolazione indotta dalla marea, dal vento (al variare dell’intensità e della direzione) e dalla piena dei corsi d’acqua defluenti nel bacino (rio Marotto, rio Molinassi, rio Cantarena e torrente Chiaravagna). Viene inoltre predisposta un’ulteriore analisi volta alla quantificazione dei tempi di ricambio delle acque interne al bacino di Sestri Ponente sulla base della circolazione interna per un periodo rappresentativo.

Queste analisi sono sviluppate mediante uno studio modellistico di dettaglio che vede l’applicazione del codice numerico tridimensionale MIKE 3, sviluppato da DHI, che rappresenta senza dubbio il gruppo di modelli numerici più completo ed affidabile oggi disponibile nel campo delle risorse idriche.

## 2 Approccio metodologico

Lo studio è stato predisposto eseguendo inizialmente una caratterizzazione del sito (sezione 4) in termini di condizioni di vento, oscillazione di marea e portate defluenti dai corsi d’acqua che sfociano nel bacino, ossia rio Marotto, rio Molinassi, rio Cantarena e torrente Chiaravagna.

Questi dati sono stati opportunamente analizzati al fine di individuare per ciascuna forzante alcune condizioni rappresentative (scenari). Ognuno di questi scenari è stato successivamente simulato, per la configurazione progettuale del bacino di Sestri Ponente, con modellistica numerica idrodinamica tridimensionale (MIKE 3 HD, sezione 5).

Infine (sezione 6) è stata predisposta un’ulteriore simulazione volta alla quantificazione dei tempi di ricambio delle acque interne al bacino di Sestri Ponente sulla base della circolazione interna di un periodo rappresentativo. Le simulazioni sono state predisposte in riferimento a due finestre temporali: una potenzialmente più critica ai fini del ricambio idrico (condizione estiva caratterizzata da venti mediamente deboli) e una più frequente per il sito.

Le analisi sopra descritte sono state sviluppate mediante l’applicazione di modellistica numerica tridimensionale, ed in particolare MIKE 3 HD – *Hydrodynamics* [1], per la rappresentazione dei campi idrodinamici tridimensionali, ed il modello MIKE 3 AD – *Advection Dispersion* [2], per lo studio del ricambio idrico all’interno del bacino.

A seguire si riportano in dettaglio i dati utilizzati, la loro analisi, la descrizione delle impostazioni dei modelli numerici ed i risultati ottenuti.

### 3 Area di studio e layout di progetto

Il Bacino di Sestri Ponente, ubicato tra l'aeroporto di Genova e la costa, ospita nella parte più interna, a est, numerose associazioni sportive, mentre a sud, in adiacenza alla pista aeroportuale, vi sono i tre moli del porto turistico Marina di Sestri; a nord si sviluppano i cantieri navali (tra cui Fincantieri e Tankoa) ed un importante terminale petrolifero, la Porto Petroli S.p.A. (Figura 3-1).



Figura 3-1 Inquadramento dell'area di studio

In particolare, nell'area cantieristica di Fincantieri, dedicata alla costruzione e all'allestimento di navi da crociera per i maggiori armatori nazionali ed internazionali, è in progetto la creazione di una nuova piattaforma industriale ubicata tra il pontile Delta del Porto Petroli di Multedo e l'area Tankoa. L'intervento consentirà di migliorare ed ampliare la logistica delle aree cantieristiche dello stabilimento che, in tale modo, risulterebbero tutte concentrate lungo il lato mare del tracciato ferroviario, determinando così un utilizzo più efficace e razionale delle aree industriali.

Rimandando ai documenti progettuali per la descrizione dettagliata delle opere previste, si riassume sinteticamente a seguire il layout in progetto, fornito da F&M Engineering, su cui si basano le attività modellistiche:

- dragaggio dell'area di intervento per garantire una profondità minima di 11 m (indicato con la lettera A in Figura 3-2);
- ampliamento dei piazzali e tombamento dei bacini esistenti, con un avanzamento compreso tra i 80 m e i 120 m, verso il centro del bacino portuale (indicato con la lettera B in Figura 3-2);
- creazione di un nuovo bacino di carenaggio di lunghezza pari a circa 400 m (indicato con la lettera C in Figura 3-2);
- ampliamento del pontile esistente con un impalcato su pali (indicato con la lettera D in Figura 3-2);
- riduzione di 50 m della testata del molo Tankoa (indicato con la lettera E in Figura 3-2);
- riduzione del molo di levante della Marina di circa 50 m (indicato con la lettera I in Figura 3-2);
- riduzione del molo centrale della Marina di circa 60 m (indicato con la lettera I in Figura 3-2);

- rimozione della barriera (indicata con la lettera H in Figura 3-2);
- riduzione di circa 60 m della testata del molo in prossimità dell'imboccatura del bacino (indicato con la lettera I in Figura 3-2).

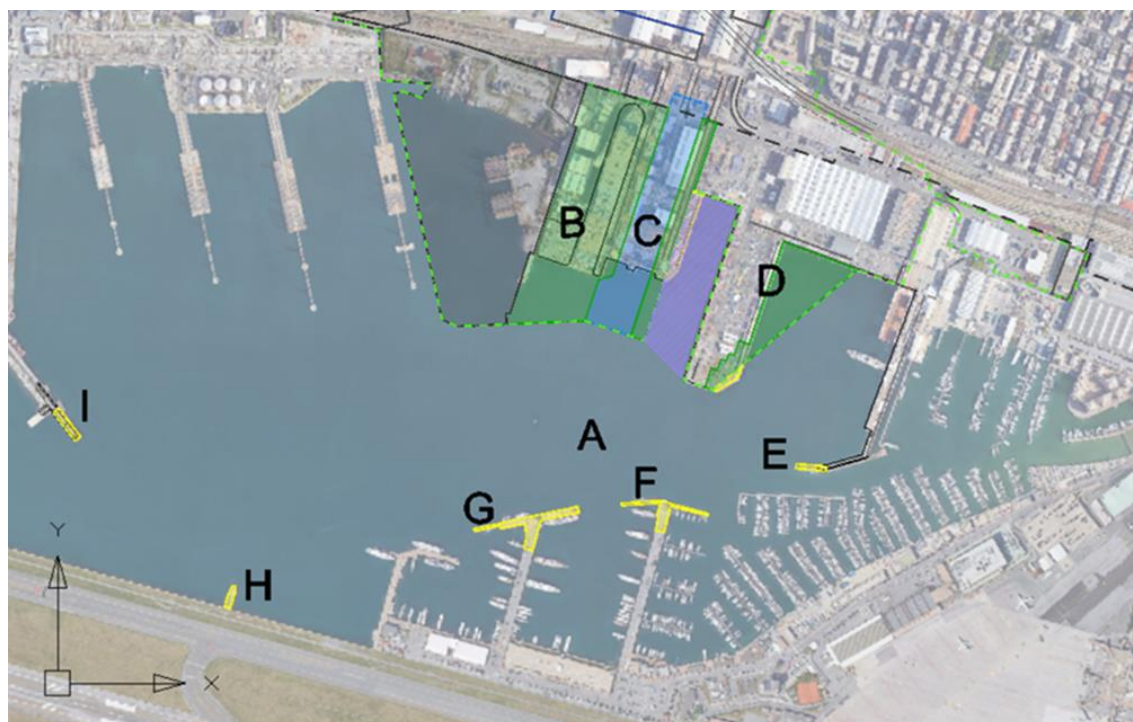


Figura 3-2 Layout di progetto del bacino di Sestri Ponente

## 4 Descrizione ed analisi dei dati disponibili

Tra le prime attività necessarie negli studi di modellistica numerica, vi è la caratterizzazione del sito oggetto di studio, sia dal punto di vista delle forzanti in grado di generare, nel caso specifico, i campi idrodinamici, sia in termini di batimetria. Nelle sezioni a seguire sono riportati i database considerati ed una preliminare caratterizzazione per quanto riguarda i dati di vento (sezione 4.1), i dati di livello marino (sezione 4.2), i dati relativi ai corsi d'acqua (sezione 4.3) ed i dati batimetrici (sezione 4.4).

### 4.1 Dati di vento

Per il vento si è fatto riferimento alle registrazioni del sensore della rete NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) [3]. La stazione anemometrica di riferimento per la presente analisi è ubicata nell'area aeroportuale di Genova (Figura 4-1).

Il sensore ha disponibilità di registrazioni dal 1/1/1973, con scansione variabile tra 10 e 60 minuti.

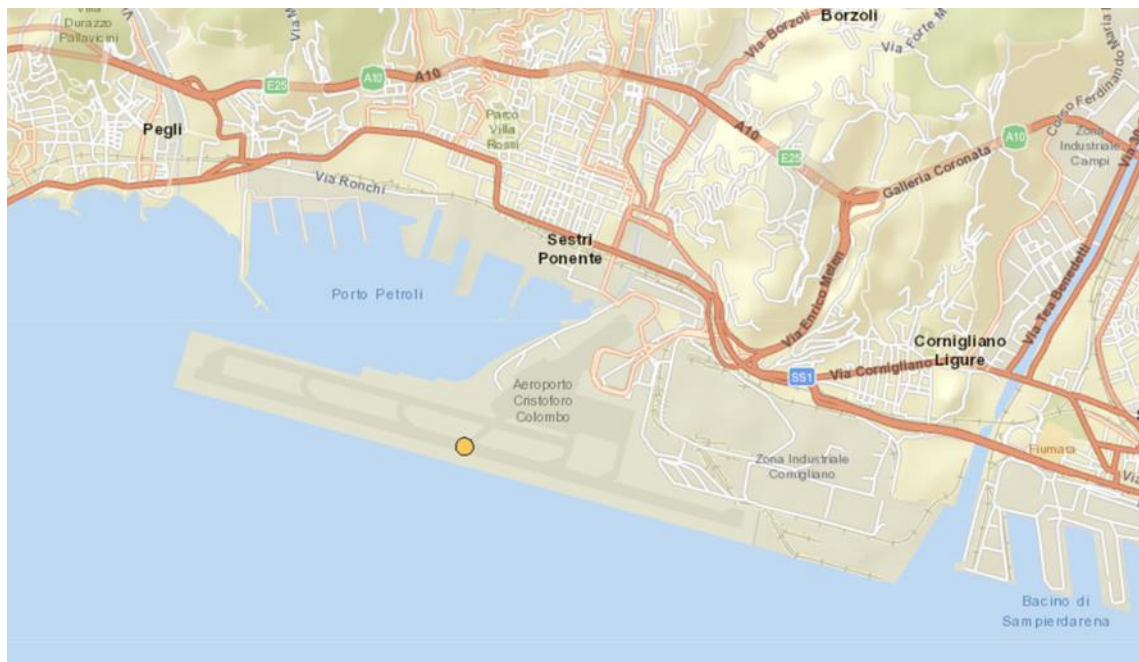


Figura 4-1 Ubicazione del sensore NOAA presso l'aeroporto Cristoforo Colombo di Genova (1973 – 2019)

La posizione della stazione permette una realistica rappresentazione non solo dell'intensità del vento, ma anche delle principali direzioni di provenienza.

A seguire si riportano il numero di eventi per classi di intensità del vento in funzione della direzione (Tabella 4-1) e la rappresentazione in forma di rosa (Figura 4-2) della serie di intensità e direzione del vento per la serie storica uniformata ad un intervallo temporale costante pari a 60 minuti.

Questa analisi mette in evidenza che il settore direzionale prevalente è compreso tra 25°N e 65°N (I Quadrante), caratterizzato dalla maggiore frequenza di provenienza, mediamente pari a circa 2800 registrazioni orarie all'anno (corrispondenti a circa 17 settimane all'anno), e dai venti più intensi, con velocità massime di circa 28 m/s. Complessivamente dal I Quadrante si verificano mediamente 3600 registrazioni orarie all'anno (corrispondenti a circa 21.5 settimane all'anno).

Un altro settore importante dal punto di vista anemometrico è quello compreso tra 115°N e 155°N (II Quadrante), che presenta una frequenza di provenienza dei venti mediamente pari a circa 1100 registrazioni orarie all'anno (corrispondenti a quasi 7 settimane all'anno), e da venti intensi, con velocità massime di circa 22 m/s. Dalla direzione di 120°N proviene anche l'evento più intenso verificatosi nei 47 anni considerati, caratterizzato da una velocità di circa 32 m/s. Complessivamente dal II Quadrante si verificano mediamente 1800 registrazioni orarie all'anno (corrispondenti a circa 10.5 settimane all'anno).

Gli altri due quadranti sono caratterizzati da frequenze più basse: complessivamente, dal III Quadrante si verificano mediamente 700 registrazioni orarie all'anno, corrispondenti a poco più di 4 settimane all'anno e dal IV Quadrante si verificano mediamente 180 registrazioni orarie all'anno, corrispondenti a circa 1 settimana all'anno.

La condizione di calma, qui associata ad intensità del vento inferiore a 2 m/s, si verifica per quasi 15 settimane all'anno in media.

Tabella 4-1 Numero di registrazioni (frequenza oraria) per classi di intensità del vento WS (colonne) e direzione media WD (righe) per la stazione NOAA (Figura 4-1) nel periodo 1973 - 2019

	[0-2[	[2-4[	[4-6[	[6-8[	[8-10[	[10-12[	[12-14[	[14-16[	[16-18[	[18-20[	[20-22[	[22-24[	[24-26[	[26-28[	[28-30[	[30-32[	[32-34[	Total	Accum
[345-355[	1113	459	649	459	152	45	23	14	3	1	-	-	-	-	-	-	-	2918	411984
[335-345[	648	314	504	293	87	30	10	12	3	1	-	-	-	-	-	-	-	1902	409066
[325-335[	520	271	264	177	74	21	9	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1342	407164
[315-325[	552	269	137	107	56	14	5	2	1	1	-	-	-	-	-	-	-	1144	405822
[305-315[	690	322	157	57	28	10	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1266	404678
[295-305[	885	316	112	59	22	9	3	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1387	403412
[285-295[	1152	534	188	77	25	2	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1979	402025
[275-285[	1591	689	162	36	11	2	2	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	2494	400046
[265-275[	1346	853	158	32	11	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2403	397552
[255-265[	1687	1325	257	77	11	6	2	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3366	395149
[245-255[	1387	1586	316	82	7	9	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3388	391783
[235-245[	1652	2212	660	335	78	28	5	3	5	-	-	-	-	-	-	-	-	4978	388395
[225-235[	1799	2467	506	182	60	25	12	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5057	383417
[215-225[	1839	2426	478	222	104	51	17	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5141	378360
[205-215[	1858	2350	581	338	205	85	25	7	1	-	-	-	-	-	-	-	-	5450	373219
[195-205[	1569	2242	764	487	262	97	34	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5462	367769
[185-195[	1456	2885	1107	732	301	122	34	9	2	-	-	-	-	-	-	-	-	6648	362307
[175-185[	2454	4381	1901	1048	407	139	41	7	1	-	-	-	-	-	-	-	-	10379	356569
[165-175[	2122	4696	2025	931	309	103	27	5	-	-	-	1	-	-	-	-	-	10219	345280
[155-165[	2337	5864	2909	1272	368	107	27	1	1	2	-	-	-	-	-	-	-	12888	335061
[145-155[	2130	5410	4100	1840	459	118	49	10	2	3	-	-	-	-	-	-	-	14121	322173
[135-145[	2382	4483	4854	2828	722	200	88	25	6	-	-	1	-	-	-	-	-	15589	308052
[125-135[	1910	4184	4931	3793	1542	450	156	35	7	2	-	-	-	-	-	-	-	17010	292463
[115-125[	1911	2904	3619	3116	1520	577	169	64	20	2	2	-	-	-	-	1	-	13905	275453
[105-115[	1295	2061	1663	1136	490	125	38	15	7	3	-	-	-	-	-	-	-	6833	261548
[95-105[	1430	1961	1003	457	149	52	10	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5065	254715
[85-95[	1855	2324	859	267	53	9	3	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	5373	249650
[75-85[	2325	3201	1321	429	115	28	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7422	244277
[65-75[	3198	4859	2889	1200	445	114	39	6	1	-	-	-	-	-	-	-	-	12751	236855
[55-65[	3274	10577	7975	2884	922	203	36	5	3	-	-	1	-	1	-	-	-	25881	224104
[45-55[	4387	12941	14277	9770	4247	1094	141	18	1	-	-	-	-	1	-	-	-	46877	198223
[35-45[	6103	10575	10579	10461	5900	1763	277	17	1	-	-	-	-	1	-	-	-	45677	151346
[25-35[	7446	10212	6719	7469	3488	865	120	10	1	1	1	-	-	-	-	-	-	36332	105669
[15-25[	8343	6175	3929	3738	1611	484	143	34	10	2	1	-	-	-	-	-	-	24470	69337
[5-15[	5458	1434	1205	1180	551	221	65	26	8	-	-	-	-	-	-	-	-	10148	44867
[5-5[	34129	243	161	121	38	22	4	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	34719	34719
Total	116213	120005	83919	57692	24830	7233	1619	356	86	20	4	3	-	3	-	1	-	411984	-
Accum	116213	236218	320137	377829	402659	409892	411511	411867	411953	411973	411977	411980	411980	411983	411983	411984	411984	-	-

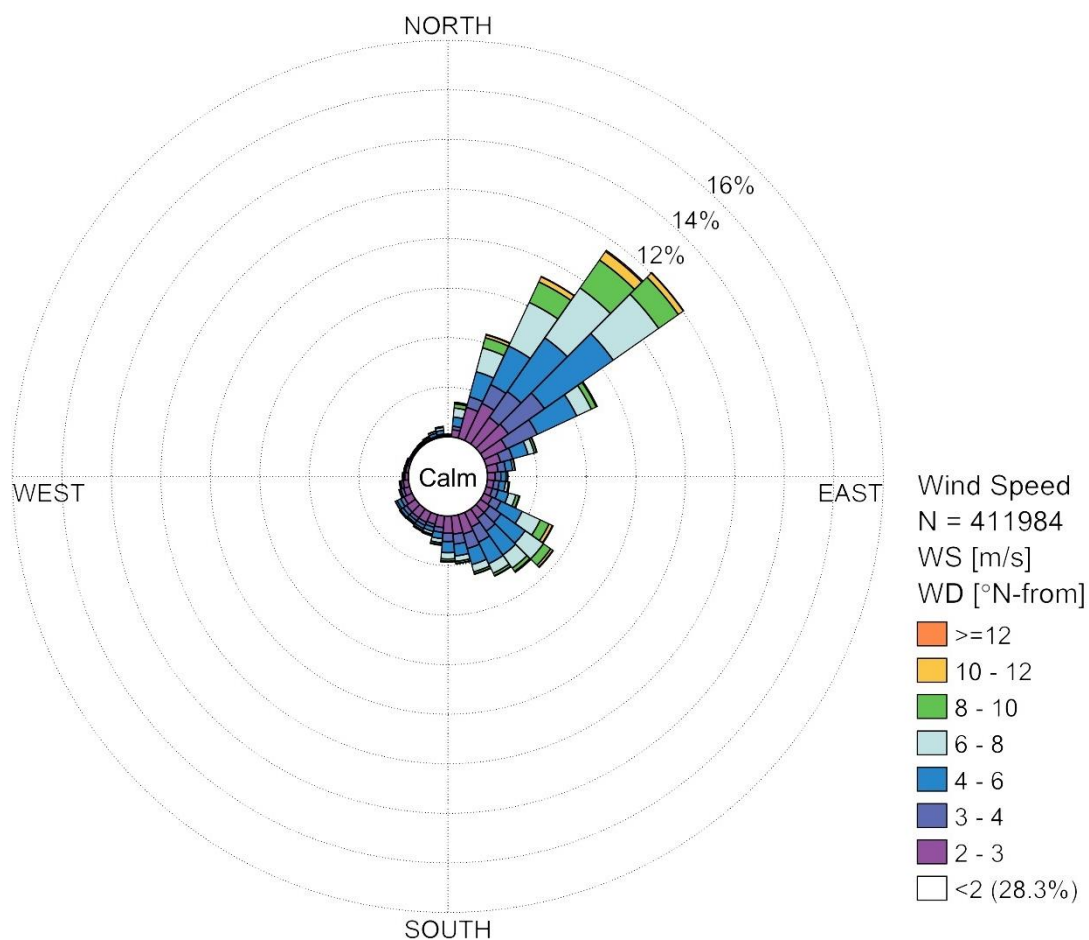
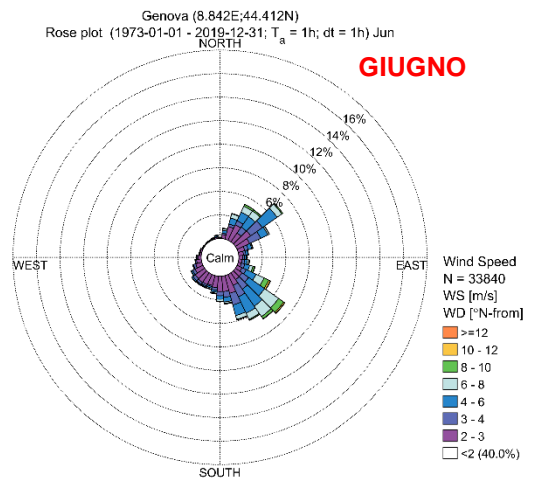
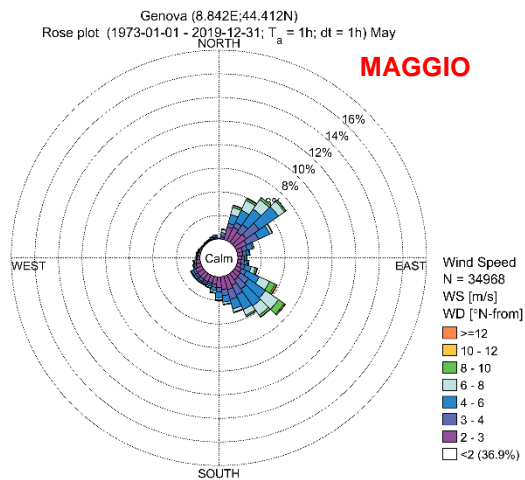
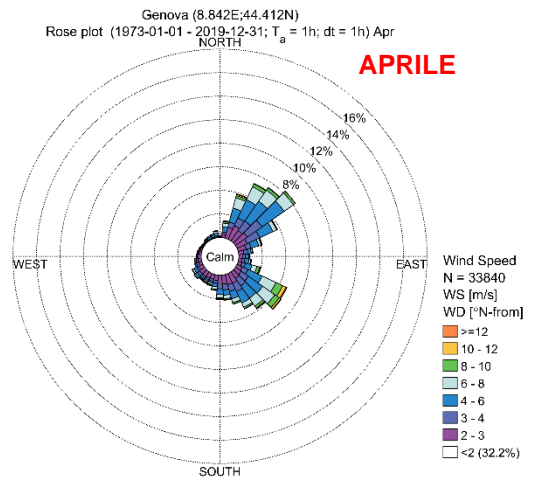
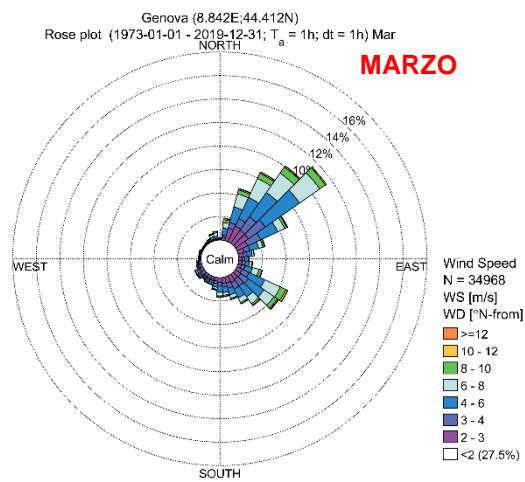
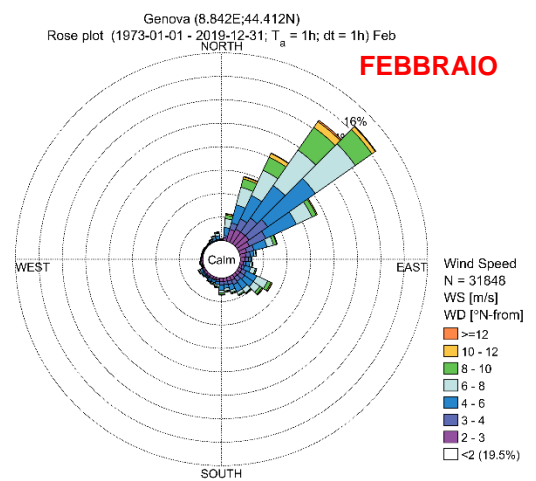
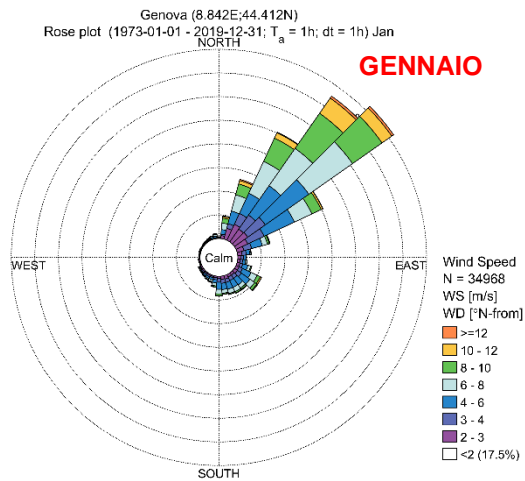


Figura 4-2 Rosa annuale del vento per la stazione NOAA (Figura 4-1) per il periodo 1973-2019 (frequenza oraria), con la discretizzazione per settori di direzione di provenienza. La calma è associata ad intensità inferiori a 2 m/s

Sono state rappresentate (Figura 4-3) anche le rose del vento su base mensile con lo scopo di evidenziare la variabilità del regime anemometrico durante l'anno.

Queste rappresentazioni mettono in evidenza che i mesi caratterizzati dai venti più intensi e più frequenti sono quelli invernali, ossia Dicembre, Gennaio e Febbraio; questi presentano una condizione di calma (qui associata a venti con velocità inferiori a 2 m/s) dell'ordine del 18%, pari a circa 5 giorni e mezzo al mese.

Viceversa, i mesi caratterizzati da venti mediamente meno intensi sono quello di Giugno, Luglio e Agosto, durante i quali le velocità raggiungono valori massimi di 18 m/s. Durante questi mesi la condizione di calma (qui associata a venti con velocità inferiori a 2 m/s) si ha mediamente per il 40% del tempo, corrispondente a circa 12 giorni al mese.



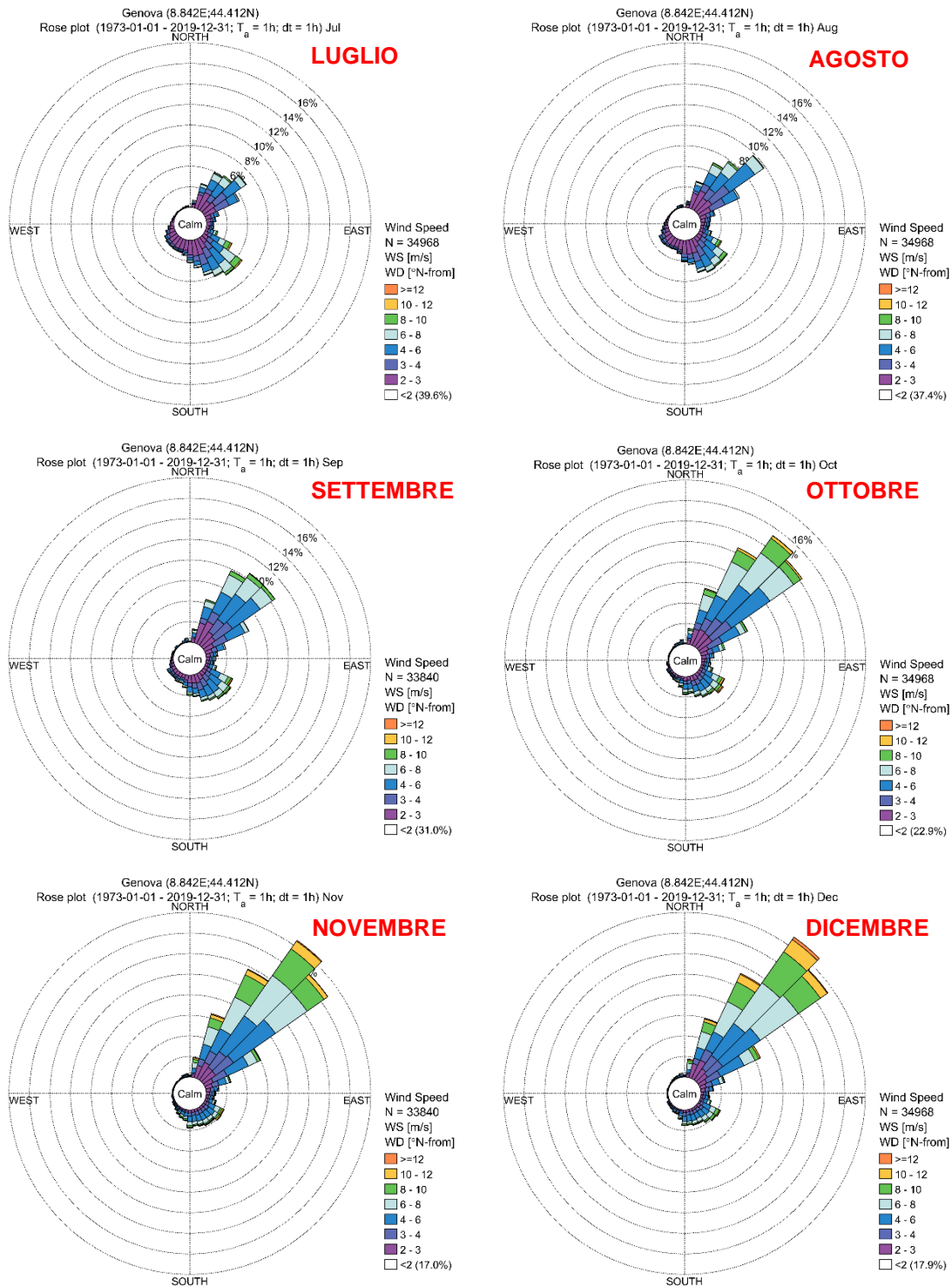


Figura 4-3 Rose mensili del vento (da Gennaio a Dicembre) per la stazione NOAA (Figura 4-1) per il periodo 1973-2019 (frequenza oraria), con la discretizzazione per settori di direzione di provenienza. La calma è associata ad intensità inferiori a 2 m/s



Per meglio caratterizzare il sito dal punto di vista anemometrico sono state anche valutate le velocità medie mensili del vento per ognuno dei 47 anni considerati, come mostrato in Tabella 4-2.

La tabella conferma che i mesi estivi (Giugno, Luglio ed Agosto) sono caratterizzati dalle velocità più basse, mediamente pari a 2.9 m/s, mentre i mesi invernali (Dicembre, Gennaio e Febbraio) presentano mediamente le velocità più elevate, pari a circa 5.0 m/s. Le altre due stagioni sono caratterizzate da velocità del vento intermedie. In particolare, il mese che presenta condizioni medie dal punto di vista anemometrico è Marzo, caratterizzato da velocità medie di 3.9 m/s.

Tabella 4-2 Velocità medie mensili (m/s) per i 47 anni analizzati (dal 1973 al 2019)

	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre	Media annuale
1973	5.6	4.8	4.3	4.1	2.7	2.3	3.5	2.8	3.2	4.7	4.6	5.2	4.0
1974	4.3	4.6	3.4	2.5	2.0	2.2	2.0	2.1	2.5	3.4	3.6	2.3	2.9
1975	3.2	4.9	3.8	2.9	2.5	2.1	1.7	2.2	3.4	3.3	4.3	4.6	3.2
1976	3.1	5.0	3.6	2.5	2.0	1.7	1.5	2.1	3.0	3.4	3.9	5.7	3.1
1977	5.0	2.7	2.6	2.4	2.6	2.3	2.2	2.2	2.6	3.2	3.5	4.8	3.0
1978	4.4	5.5	3.5	3.4	2.3	2.5	2.2	2.1	1.7	4.1	5.0	6.4	3.6
1979	6.3	5.2	4.1	3.2	2.5	2.3	2.5	3.0	3.0	5.0	4.5	4.2	3.8
1980	5.7	3.7	3.9	2.6	2.5	2.9	2.7	1.7	1.6	4.5	5.6	4.4	3.5
1981	4.7	4.2	3.4	2.5	2.4	2.2	2.3	2.7	3.7	4.0	3.0	4.9	3.3
1982	5.6	5.1	4.4	2.7	2.2	2.4	2.5	2.7	3.7	4.6	4.5	4.8	3.8
1983	2.8	4.6	3.2	3.6	3.2	1.6	1.1	2.5	3.0	3.3	5.3	4.8	3.3
1984	4.7	4.7	3.9	2.9	3.7	2.1	1.8	2.0	3.5	5.1	6.1	5.3	3.8
1985	5.4	4.3	4.9	3.8	2.7	2.7	2.3	2.1	2.3	4.0	6.0	3.8	3.7
1986	5.4	7.0	5.2	4.9	2.4	2.4	3.0	2.8	3.2	4.6	5.0	4.2	4.2
1987	6.0	5.6	4.2	2.8	3.1	3.2	2.9	2.7	2.6	5.2	5.2	4.6	4.0
1988	5.9	4.7	3.8	2.6	3.9	2.4	2.3	2.7	2.4	4.5	6.1	3.3	3.7
1989	4.3	3.6	2.8	4.6	2.3	2.8	2.4	2.4	3.2	2.7	6.3	7.6	3.7
1990	5.0	3.5	3.5	3.5	2.1	2.9	2.9	3.2	2.7	5.1	5.5	5.9	3.8
1991	6.1	5.4	3.9	3.1	1.9	3.0	1.9	1.8	3.2	4.8	4.3	4.7	3.7
1992	6.1	4.3	4.2	4.3	4.1	4.0	3.1	3.4	3.6	2.7	4.3	6.0	4.2
1993	5.1	5.2	3.7	3.5	2.7	1.4	1.7	3.2	4.7	6.3	6.3	4.9	4.1
1994	5.3	4.8	3.2	3.9	3.6	2.8	2.8	3.1	4.5	5.2	3.5	4.8	4.0
1995	4.8	4.3	5.4	3.6	2.9	2.8	3.0	3.8	3.9	3.2	5.9	7.1	4.2
1996	6.8	6.0	4.6	2.9	4.0	3.8	4.3	3.3	3.8	4.7	5.8	6.2	4.7
1997	6.8	4.4	3.7	3.2	4.3	3.4	2.4	2.8	3.5	4.5	5.9	5.5	4.2
1998	5.4	4.4	3.9	5.2	3.2	3.1	3.2	3.5	3.7	4.2	6.5	5.4	4.3
1999	4.8	4.5	3.8	3.7	2.6	3.5	3.3	3.7	3.8	3.3	5.1	5.0	3.9
2000	4.6	4.1	3.5	3.5	3.1	2.6	3.9	2.3	3.4	4.6	4.7	4.3	3.7
2001	5.4	3.1	3.9	4.1	2.4	2.2	3.3	3.4	4.0	3.0	5.8	6.3	3.9
2002	5.2	5.4	4.6	4.2	4.1	3.3	3.6	3.5	3.6	4.1	5.2	5.1	4.3
2003	4.8	5.4	3.2	4.0	3.8	2.9	3.7	3.6	4.2	5.5	6.2	6.8	4.5
2004	5.7	5.2	5.3	4.0	4.4	3.7	3.6	4.2	4.4	5.0	5.8	6.7	4.8
2005	5.1	5.4	2.2	4.0	3.5	3.4	3.3	3.7	3.9	4.9	5.9	5.4	4.2
2006	7.1	5.7	5.1	3.9	4.0	3.0	3.5	4.3	3.7	5.6	5.7	7.1	4.9
2007	5.1	5.0	4.6	3.7	4.1	4.4	3.7	1.7	4.3	5.1	5.8	5.8	4.4
2008	5.4	4.4	4.1	4.4	3.9	3.1	3.8	3.7	4.7	4.9	5.4	5.7	4.5
2009	6.6	5.0	4.3	4.1	3.0	4.3	3.1	3.2	5.2	5.4	5.3	5.6	4.6
2010	6.4	5.5	4.6	3.8	4.4	3.2	3.1	3.9	4.2	5.2	5.3	6.1	4.6
2011	5.2	4.8	4.3	3.3	3.5	4.0	4.4	3.3	4.1	5.6	6.8	4.9	4.5
2012	4.6	5.3	4.2	4.9	3.4	3.8	4.3	3.5	2.6	1.8	2.0	3.3	3.6
2013	3.5	4.1	3.4	2.9	3.6	2.6	2.7	2.8	3.3	3.7	4.0	3.6	3.3
2014	3.4	3.5	3.3	2.8	3.1	3.0	2.6	3.4	2.8	3.4	3.8	3.6	3.2
2015	4.0	3.8	3.1	2.9	3.2	2.8	2.9	2.8	3.6	3.4	3.1	2.8	3.2
2016	3.9	3.6	3.8	3.9	3.3	3.0	2.6	2.9	2.8	3.4	3.7	3.4	3.4
2017	4.5	4.1	3.4	3.2	2.6	3.0	2.9	2.6	3.2	2.7	3.5	3.7	3.3
2018	3.4	3.5	3.7	2.8	2.7	2.5	2.5	2.8	2.6	4.0	3.7	3.4	3.1
2019	3.8	3.4	4.1	3.6	3.6	2.5	2.7	2.6	3.2	4.1	3.8	4.4	3.5
Media mensile	5.0	4.6	3.9	3.5	3.1	2.9	2.8	2.9	3.4	4.2	4.9	5.0	3.9

## 4.2 Dati di livello della superficie marina

I livelli di marea astronomica (utilizzati nelle simulazioni degli scenari, sezione 5.3.1) sono stati derivati dal MIKE 21 Global Tide model, sviluppato da DTU (Technical University of Denmark) [4]. Il modello è disponibile ad una risoluzione pari a  $0.125^\circ \times 0.125^\circ$  ed include le 10 principali costituenti (Figura 4-4): Semidiurne: M2, S2, K2, N2; Diurne: S1, K1, O1, P1, Q1; Basse profondità: M4. Il modello utilizza gli ultimi 17 anni di misure dei satelliti TOPEX/Poseidon (fase A e B), Jason-1 (fase A e B) e Jason-2 per l'analisi dei livelli.

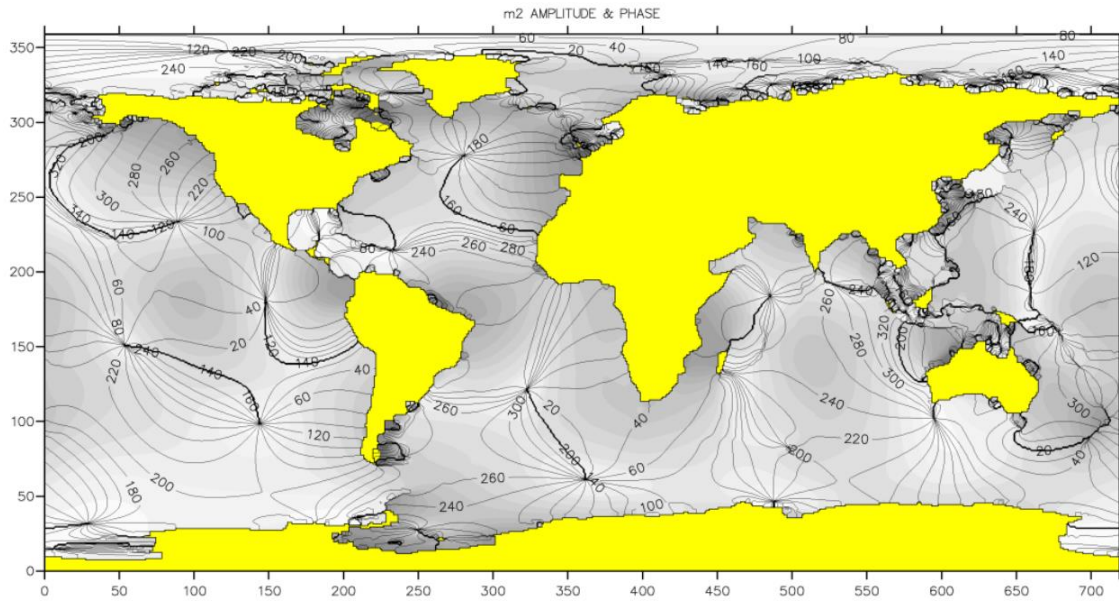


Figura 4-4 Esempio di costituente mareale (M2) utilizzata dal Global Tide model

Per i livelli marini comprensivi oltre che della marea astronomica anche di quella meteorologica (utilizzati nelle simulazioni di ricambio idrico, sezione 6), si è fatto riferimento alla serie osservata del mareografo di Genova, il più vicino al sito in esame e con maggior disponibilità di dati recenti continui. In Figura 4-5 è riportata monografia della stazione mareografica.

	<b>Rete idrografica e mareografica nazionale</b> LIVELLAZIONE DI ALTA PRECISIONE	<b>Rilievi anno 2009 - 2010</b>	<b>Stazione mareografica di Genova</b>
	<b>ORIGINE IGM</b> Cso: <b>Nodale 30_D06_001</b> Punto GPS: <b>082802 associato</b>	Annotazioni: la misura del cso mareografico ha richiesto il falso caposaldo e il csv la stadietta invar da 60 cm con staffeta di sospensione e (vedi foto laterali)	
<b>CSO MAREOGRAFICO</b> Coordinate piane UTM - WGS 84 N: <b>4917426.606</b> E: <b>494059.741</b> Quota s.l.m.: <b>m. 1.832</b> quota Italgeo 2005: <b>m.1.837</b> Bullone in acciaio inox murato sulla banchina lato sinistro della cabina mareografica			
<b>CSO ASTA IDROMETRICA</b> Non è stato possibile materializzare il caposaldo in prossimità dell'asta idrometrica per impossibilità di accesso			
<b>CSV MAREOGRAFICO</b> Quota s.l.m.: <b>3.71756</b> Piastra mensolata murata sul pilastro in calcestruzzo localizzato a destra della cabina mareografica			
<b>STAFFA MAREOGRAFICA</b> Quota s.l.m. 1998: <b>1.8366</b> Quota s.l.m. 2009: <b>1.8278</b> <b>Differenza di quota Δ = -0,00880</b> Barretta quadrangolare aggettante nel pozzo di calma murata sulla banchina dentro la cabina mareografica			

Figura 4-5 Monografia della stazione mareografica di Genova

Lo strumento, appartenente alla Rete Mareografica Nazionale [5], è ubicato presso l'Acquario, all'interno del Porto di Genova, nel punto di coordinate geografiche Latitudine 44° 24' 36.46", Longitudine 08° 55' 31.86" (Figura 4-6).

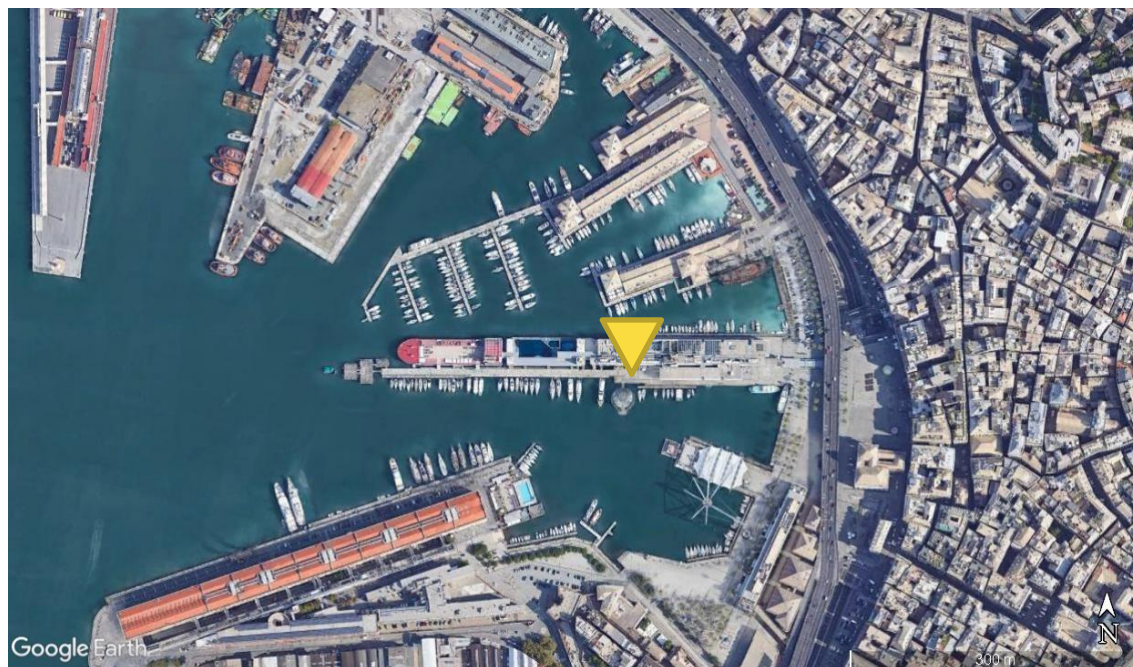


Figura 4-6 Ubicazione del mareografo di Genova all'interno del porto

I dati sono registrati ad intervalli orari o di dieci minuti e sono disponibili a partire dal 01.01.2010. In Figura 4-7 è riportato, a titolo di esempio, l'andamento dei livelli per il periodo da maggio 2012 a dicembre 2014.

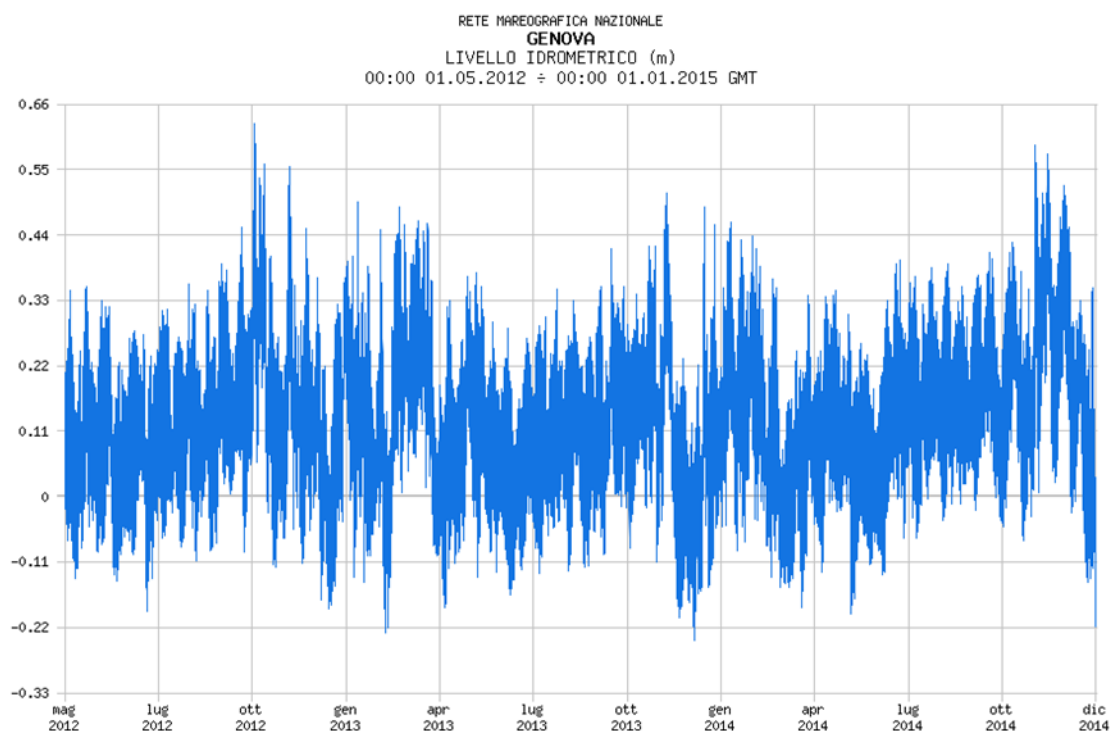


Figura 4-7 Osservazioni del livello idrometrico al mareografo di Genova (dettaglio da maggio 2012 a dicembre 2014)

### 4.3 Dati relativi ai corsi d'acqua

Al fine di valutare il contributo all'idrodinamica generale da parte dei corsi d'acqua che sfociano nel bacino di Sestri Ponente sono state ricavate le portate defluenti per il rio Marotto, rio Molinassi, rio Cantarena e torrente Chiaravagna.

Il rio Marotto [6] drena una superficie complessiva pari a 0.67 km<sup>2</sup> alla foce. Esso ha origine alle spalle dell'abitato di Multedo, in località Costa dei Pini Storti, a quota 200 m s.l.m. circa. Dopo un percorso di circa 1.85 km in direzione N-S, defluisce in mare, perpendicolarmente alla linea di costa, a Multedo. La pendenza media dell'asta è pari a circa il 10%, ma nella zona di valle, maggiormente urbanizzata, la pendenza risulta più bassa. Ad esclusione dei primi 500 m dove il rio Marotto scorre in un'incisione naturale, il corso d'acqua si presenta interamente tombinato fino al viale Villa Gavotti, in corrispondenza del quale il rio scorre infatti per un breve tratto a cielo aperto per poi tornare in tombinatura fino a mare.

Il rio Molinassi [6] drena una superficie complessiva pari a 1.98 km<sup>2</sup> alla foce. Esso ha origine alle spalle dell'abitato di Multedo, in località Contessa, a quota 450 m s.l.m. circa. Dopo un percorso di circa 4 km in direzione N-S, defluisce in mare a Multedo. La pendenza media dell'asta è pari a circa l'11%, ma nella zona di valle, maggiormente urbanizzata, la pendenza risulta più bassa. Nel tratto a monte di Via Merano il rio scorre dapprima in un'incisione naturale, quindi ha sezione pressoché rettangolare con alveo plateato e sponde arginate.

Il rio Cantarena [6] drena una superficie complessiva pari a 1.58 km<sup>2</sup> alla foce. Esso ha origine nell'abitato di Sestri Ponente, alle pendici del monte Spassoia, a quota 350 m s.l.m. circa. Dopo un percorso di circa 3.1 km in direzione N-S, defluisce in mare, perpendicolarmente alla linea di costa, a Sestri Ponente. La pendenza media dell'asta è pari a circa il 10%. Nel tratto a monte del tracciato ferroviario Genova-Ovada, il rio scorre in un'incisione naturale, mentre a valle l'alveo si presenta plateato e con sponde arginate.

Il torrente Chiaravagna [7] drena una superficie complessiva pari a 11 km<sup>2</sup> alla foce. Il bacino presenta una forma stretta ed allungata ed un reticolo non molto ramificato; l'asta principale si sviluppa per una lunghezza di circa 3.3 km. Il bacino del torrente Chiaravagna è ubicato nel tratto più settentrionale del Golfo di Genova e sfocia a mare immediatamente ad Ovest del torrente Polcevera, nella delegazione di Sestri Ponente, in prossimità dello scalo aeroportuale genovese. Il bacino, che nella parte inferiore è completamente occupato dall'area urbana della delegazione, è stato negli anni profondamente modificato ed alterato nelle sue caratteristiche morfologiche.

Per l'individuazione delle portate defluenti in tali corsi d'acqua si è fatto riferimento a quanto riportato nei Piani di Bacino [6] [7], nei quali vengono definite le portate di piena potenziali per assegnato tempo di ritorno a partire dalle curve di possibilità pluviometrica. In Tabella 4-3 sono riportati tali valori, per ciascun rio, per diversi periodi di ritorno, in riferimento alle sezioni prossime al tratto di foce.

Tabella 4-3 Portate per diversi periodi di ritorno per i 4 corsi d'acqua che sfociano nel bacino di Sestri Ponente [6] [7]

Tr (anni)	Portata m <sup>3</sup> /s			
	Marotto	Molinassi	Cantarena	Chiaravagna
10	12	34	27	129.2
50	22	66	52	199.5
100	27	80	64	235.7
200	32	95	76	276.2

Si evidenzia che dal punto di vista della morfologia del tratto di foce si è fatto riferimento alle sezioni degli alvei riportate nei Piani di Bacino. Per i 3 rii considerati sono state da poco approvate, o sono in corso di approvazione, nuove configurazioni progettuali dei tratti fociivi volte a garantire un migliore deflusso delle portate in alveo in riferimento ad elevati periodo di ritorno. Per i rii Marotto, Molinassi e Cantarena si è pertanto fatto riferimento alle configurazioni progettuali proposte, mentre per il torrente Chiaravagna gli interventi di adeguamento sono già stati realizzati e recepiti nel Piano di Bacino [7].

Relativamente al rio Marotto esiste un progetto definitivo approvato [8] che prevede l'adeguamento della sezione idraulica nel tratto terminale, passando dagli attuali 4÷5 m di larghezza dello scatolare a circa 8 m (Figura 4-8).

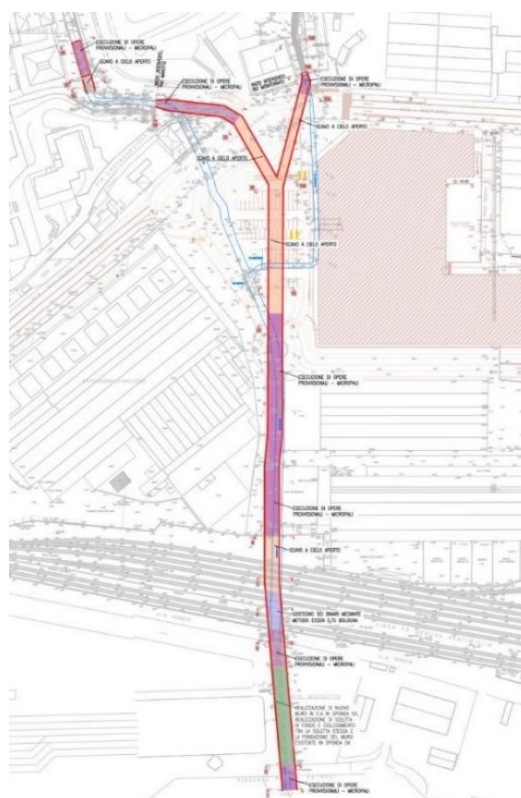


Figura 4-8 Configurazione progettuale del rio Marotto a cui si è fatto riferimento per il presente studio

Il progetto definitivo per il nuovo inalveamento del rio Molinassi da Piazza Clavarino fino alla foce [9] (Figura 4-9), risulta inserito nel più ampio contesto della prima fase del progetto di ampliamento delle aree Fincantieri per conto del Comune di Genova. L'iter approvativo del suddetto progetto definitivo da parte del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, su istanza dell'Autorità Portuale di Genova in qualità di stazione appaltante, risulta in corso.

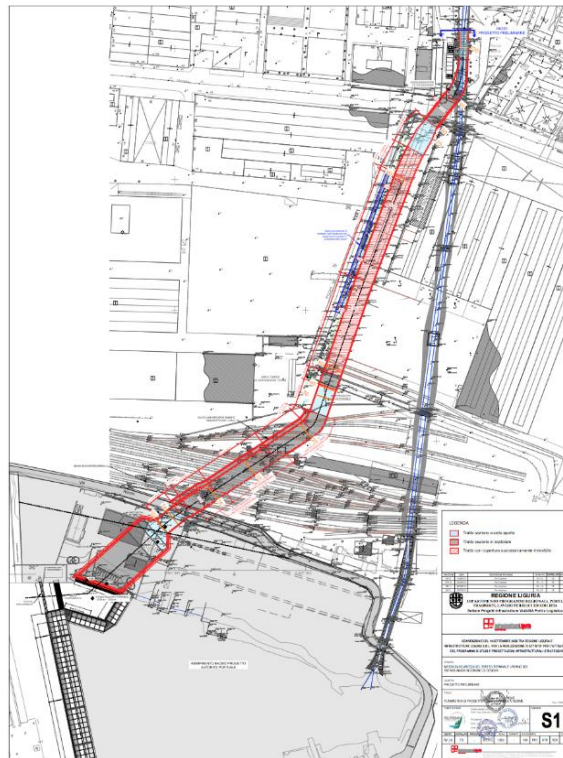


Figura 4-9 Configurazione progettuale del rio Molinassi a cui si è fatto riferimento per il presente studio

Infine, per il rio Cantarena è in corso di approvazione il progetto definitivo [10] improntato a minimizzare gli impatti dovuti alle condizioni di sbocco sullo specchio acqueo antistante, consentendo nel contempo il deflusso delle portate di piena senza rigurgiti significativi verso monte. In particolare, il progetto prevede la realizzazione dell'ultimo tratto di alveo (per una lunghezza di circa 170 m) in area Fincantieri affiancato al tracciato esistente e la realizzazione di un canale di calma e raccordo con lo specchio acqueo portuale, con quota di fondo pari a circa -8.5 m s.l.m (Figura 4-10).



Figura 4-10 Configurazione progettuale del rio Cantarena a cui si è fatto riferimento per il presente studio

Per le informazioni progettuali di dettaglio si demanda alle relative relazioni tecniche [8], [9], [10].

## 4.4 Dati batimetrici

Per la caratterizzazione batimetrica del sito sono state integrate le seguenti fonti di dati:

- per i fondali del bacino di Sestri Ponente è stato utilizzato un rilievo di dettaglio, effettuato nel Maggio 2021 dalla società Prisma S.r.l. per conto dell'Autorità di Sistema Portuale del Mar Ligure Occidentale (Figura 4-11);
- per un breve tratto di valle dei corsi d'acqua che sfociano nel bacino (rio Marotto, rio Molinassi, rio Cantarena e torrente Chiaravagna) si è fatto riferimento alle sezioni trasversali presenti nei Piani di Bacino [6] [7], opportunamente integrati con le informazioni contenute nei documenti progettuali relativi alla risistemazione dei rii Marotto [8], Molinassi [9] e Cantarena [10];
- per le aree esterne al bacino a più alte profondità e comunque per le zone non ricomprese nel rilievo di dettaglio sono state utilizzate carte nautiche digitali appartenenti al database CM-93 di C-MAP [11], un database globale di cartografia nautica in formato digitale, creato e continuamente aggiornato da Jeppesen [12]. Tali dati sono direttamente importabili nell'ambiente di lavoro dei codici di calcolo di DHI, consentendo quindi una rapida caratterizzazione batimetrica dell'area (Figura 4-12).

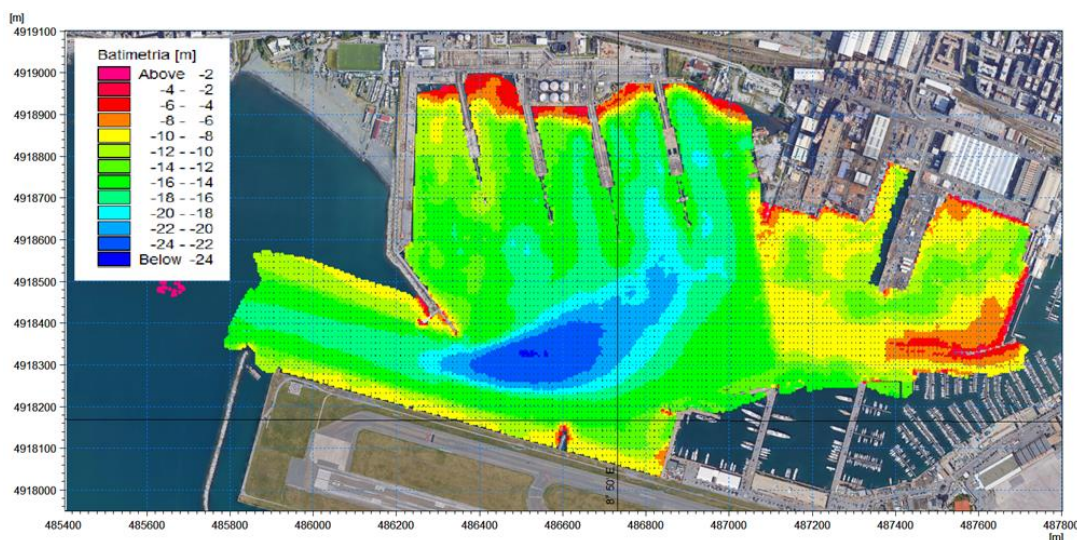


Figura 4-11 Isobate risultanti dal rilievo di dettaglio effettuato nel Maggio 2021 da Prisma s.r.l.

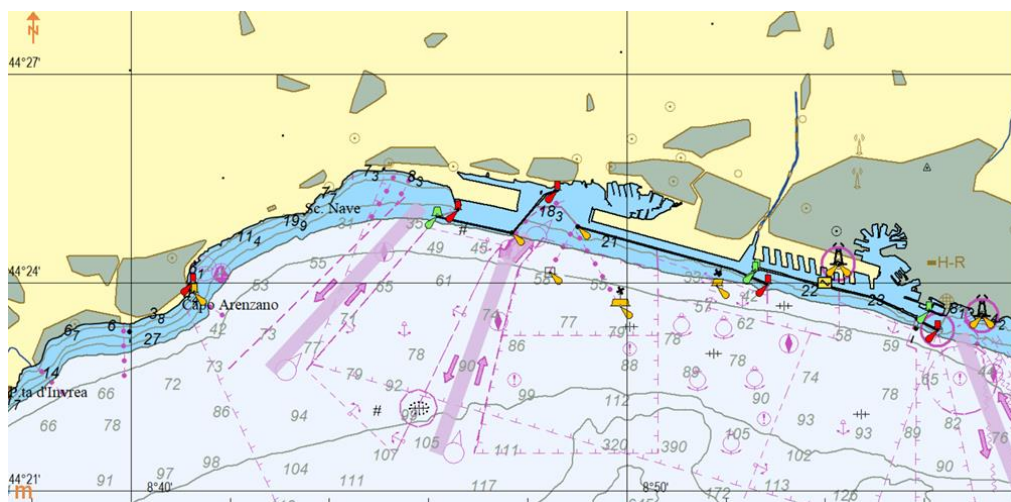


Figura 4-12 Rappresentazione della cartografia nautica CM-93 di C-MAP per il paraggio in esame

## 5 Modello di circolazione

Il modello idrodinamico è stato implementato mediante l'applicazione del modello tridimensionale MIKE 3 HD-*Hydrodynamics* [1], basato su un approccio a maglia flessibile (Figura 5-1), sviluppato per applicazioni in mare aperto, sotto costa ed in estuari. Esso simula le variazioni di livello e corrente in risposta alle differenti tipologie di forzanti considerate, consentendo anche la simulazione della variazione di densità nelle 3 direzioni. Il codice permette di considerare tutti i fenomeni principali che hanno influenza sull'idrodinamica degli ambienti di mare aperto e/o costieri: gradienti di densità (temperatura/salinità), effetto delle maree, effetto del vento, scambio termico con l'atmosfera, forza di Coriolis, moto ondoso ed apporti fluviali.

MIKE 3 HD può essere utilizzato in modalità *stand-alone* o accoppiato ad altri moduli che, pur finalizzati alla simulazione di altri fenomeni, richiedono la risoluzione contestuale delle variabili idrodinamiche (in primis velocità di corrente).

MIKE 3 HD 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, temperatura, salinità e densità. La densità non dipende dalla pressione, ma 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 sovrapposte.

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  $\sigma$  (strati di spessore variabile in funzione della profondità locale), che un approccio basato su livelli orizzontali "z" che, infine, un approccio combinato sigma-zeta.

Il modello idrodinamico è descritto nel dettaglio in Allegato A al presente documento.

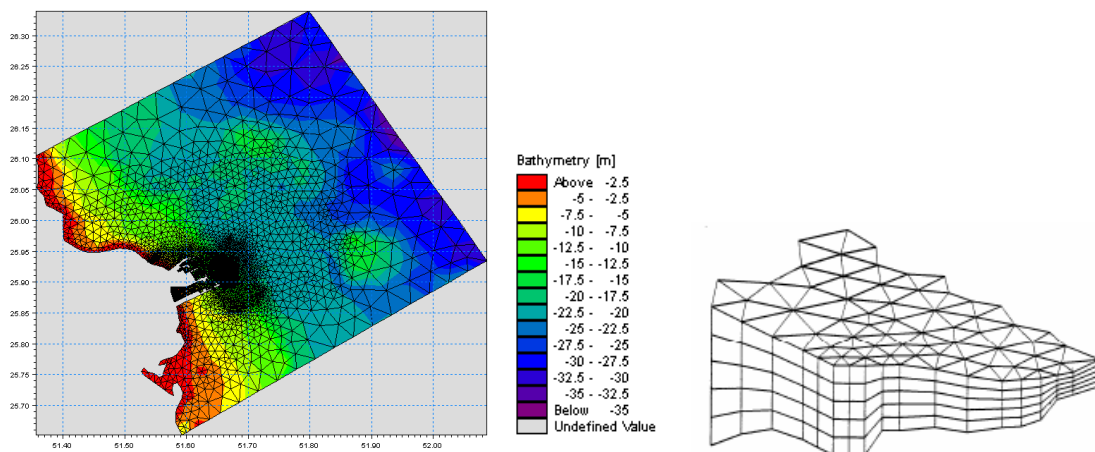


Figura 5-1 Esempi di mesh di calcolo di MIKE 3 FM



## 5.1 Selezione degli scenari di simulazione

Il modello idrodinamico è stato applicato con lo scopo di determinare i campi di corrente generati dalle principali forzanti che intervengono nella creazione della circolazione all'interno del bacino di Sestri Ponente: oscillazione di marea, vento e portate fluviali.

Per quanto riguarda la **marea**, è stata implementata una simulazione di durata 15 giorni (Figura 5-2), pari all'intero ciclo mareale, applicando come unica condizione al contorno la marea astronomica, derivata dal MIKE 21 Global Tide model (sezione 4.2). Questa simulazione ha permesso di verificare il contributo della sola marea sull'idrodinamica interna al bacino, indipendentemente, quindi, da altre forzanti o specifiche condizioni atmosferiche.

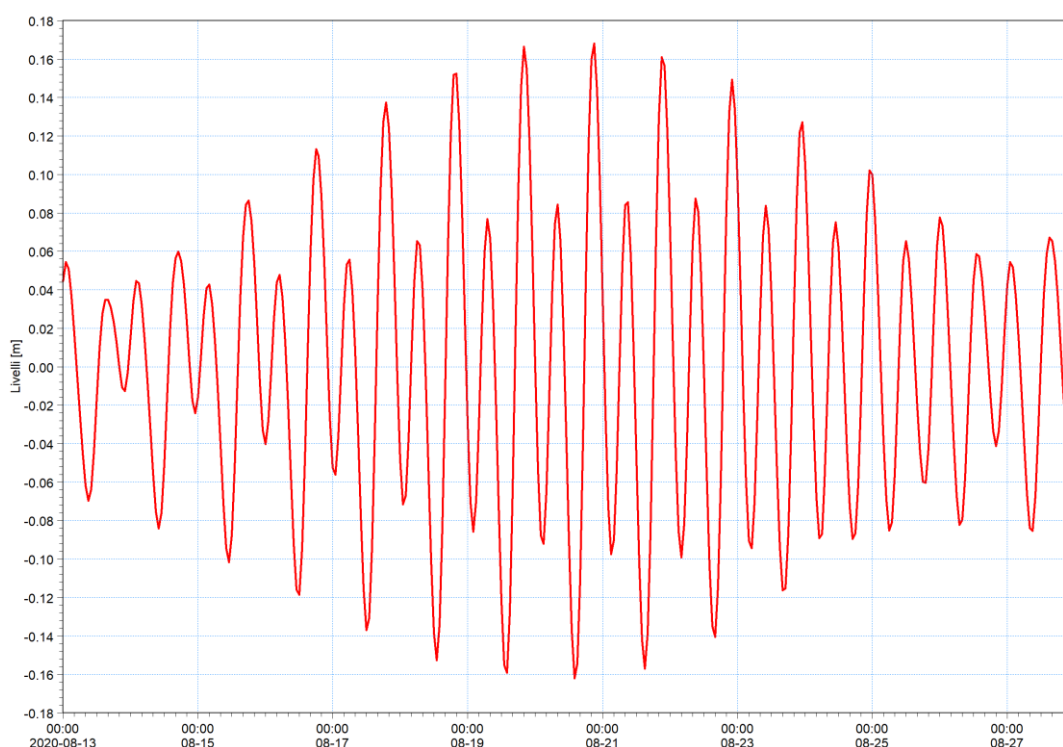


Figura 5-2 Condizione di marea astronomica nella zona di Sestri Ponente presa a riferimento per il presente studio

In riferimento al **vento**, sono stati selezionati quattro scenari caratterizzati dalla direzione più frequente per ognuno dei quattro quadranti. Relativamente alle intensità sono state individuate per ogni direzione considerata due velocità: una velocità corrispondente al 50esimo percentile per ciascun quadrante, ed una condizione di vento più intenso con frequenza corrispondente al 98esimo percentile. Questa analisi è stata eseguita a partire dai dati anemometrici descritti nella sezione 4.1 ed ha portato a determinare le condizioni di direzione e velocità di vento sintetizzate in Tabella 5-1.

Tabella 5-1 Velocità del vento (WS in m/s) e direzione di provenienza del vento più frequente per ciascun quadrante direzionale

Quadrante	WS [m/s]		Direzione più frequente [°N]
	Percentile 50	Percentile 98	
I (0-90°N)	5	10	45
II (90-180°N)	4	10	125
III (180-270°N)	3	9	185
IV (270-360°N)	3	9	345

Infine, è stato simulato il contributo all'idrodinamica del bacino fornito dalle **portate defluenti nei quattro corsi d'acqua**, come riportato nella sezione 4.3. In virtù delle assai modeste portate medie defluenti dai corsi d'acqua nel bacino, non in grado di influenzare la circolazione generale, per la simulazione dell'effetto dei rii si è assunto di fare riferimento ai valori di portata con periodo di ritorno 10 anni, indicate nei Piani di Bacino.

La condizione al contorno di monte di ciascuna asta fluviale è stata impostata pertanto come condizione di portata, con i valori riportati in Tabella 4-3. La condizione al contorno di valle, rappresentata dal livello del mare, è stata imposta pari a 0 m, condizione che massimizza l'effetto dei corsi d'acqua sull'idrodinamica del bacino.

Anche in questo caso non sono state utilizzate altre forzanti: la marea astronomica non è stata inserita in quanto, come mostrato nel seguito, fornisce un contributo assai modesto all'idrodinamica del bacino; si è inoltre ritenuto opportuno non inserire il vento in considerazione del fatto che le piene dei corsi d'acqua e gli eventi di vento intenso non sono, per il sito, in alcun modo correlati. In questo modo, al pari di quanto effettuato per gli altri scenari, è stato possibile valutare separatamente il solo contributo fluviale alla circolazione locale.

## 5.2 Dominio di calcolo e batimetria

Per la caratterizzazione batimetrica dell'area sono stati utilizzati i rilievi batimetrici descritti nella sezione 4.4.

Il dominio di calcolo comprende l'intero bacino di Sestri Ponente ed una zona di mare esterna che si chiude a sud in corrispondenza della diga foranea del Bacino Portuale di Prà ed è delimitata a ovest dalla diga che racchiude il Bacino Portuale di Prà ed a est dalla diga a protezione della pista aeroportuale. Il modello presenta un'estensione maggiore rispetto alla mera zona di interesse per evitare che l'idrodinamica interna al bacino portuale potesse risentire della condizione al contorno.

La batimetria del modello è stata costruita utilizzando un approccio a maglia flessibile: la risoluzione spaziale (lunghezza media dei lati dei triangoli) nella zona di mare esterna al bacino portuale di Sestri Ponente è di circa 50 m, mentre nell'area interna è di circa 20 m. La parte terminale degli alvei fluviali è invece stata discretizzata con una risoluzione variabile tra 3 m (per il rio Marotto e Cantarena) e 15 m (per il torrente Chiaravagna) in funzione della larghezza dell'alveo. Complessivamente la *mesh* di calcolo è costituita da circa 13'600 elementi.

In Figura 5-3 è rappresentata la griglia del modello, mentre in Figura 5-4 è rappresentato un ingrandimento della stessa comprendente il solo bacino di Sestri Ponente; i risultati verranno mostrati solo per questa area.

Il risultato finale del processamento dei dati batimetrici disponibili è illustrato in Figura 5-5.

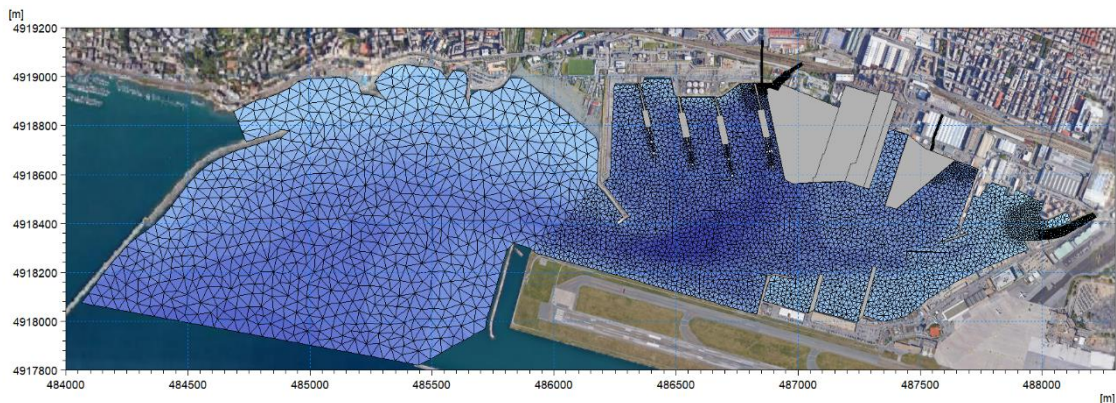


Figura 5-3 Rappresentazione della *mesh* di calcolo

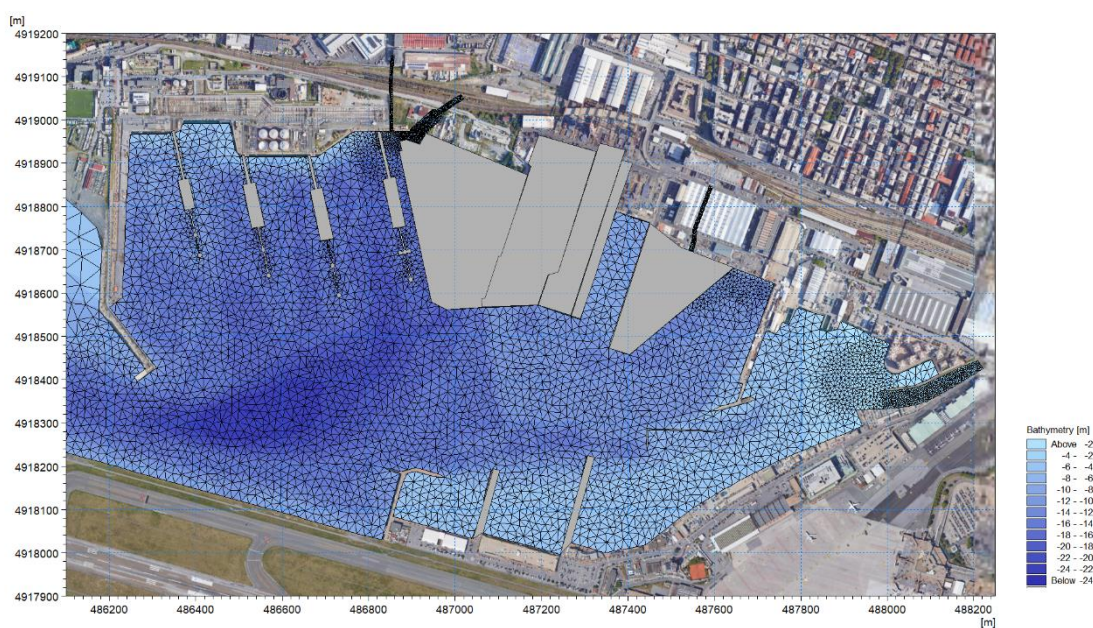


Figura 5-4 Dettaglio della *mesh* di calcolo

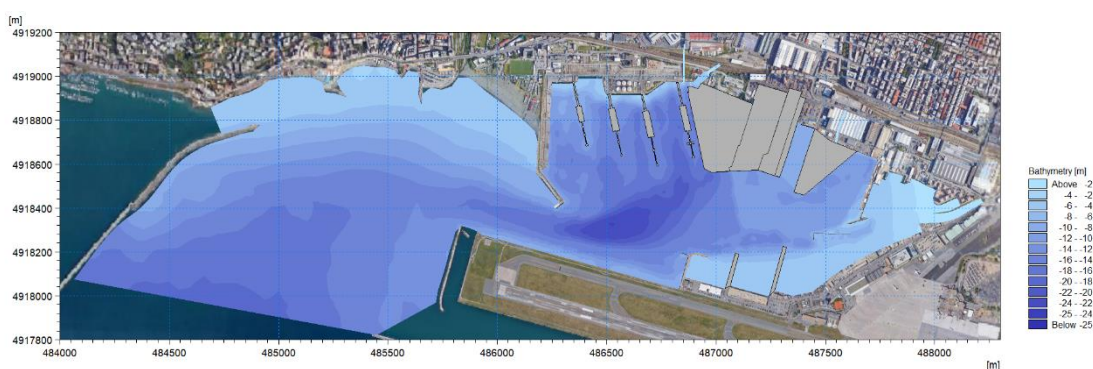


Figura 5-5 Batimetria ottenuta dal processamento dei dati disponibili

La discretizzazione verticale è stata effettuata utilizzando quattro livelli di tipo sigma, ossia di spessore variabile con la profondità.

La Figura 5-6 illustra un esempio di rappresentazione di una sezione trasversale centrale al bacino e parallela all'imboccatura portuale.

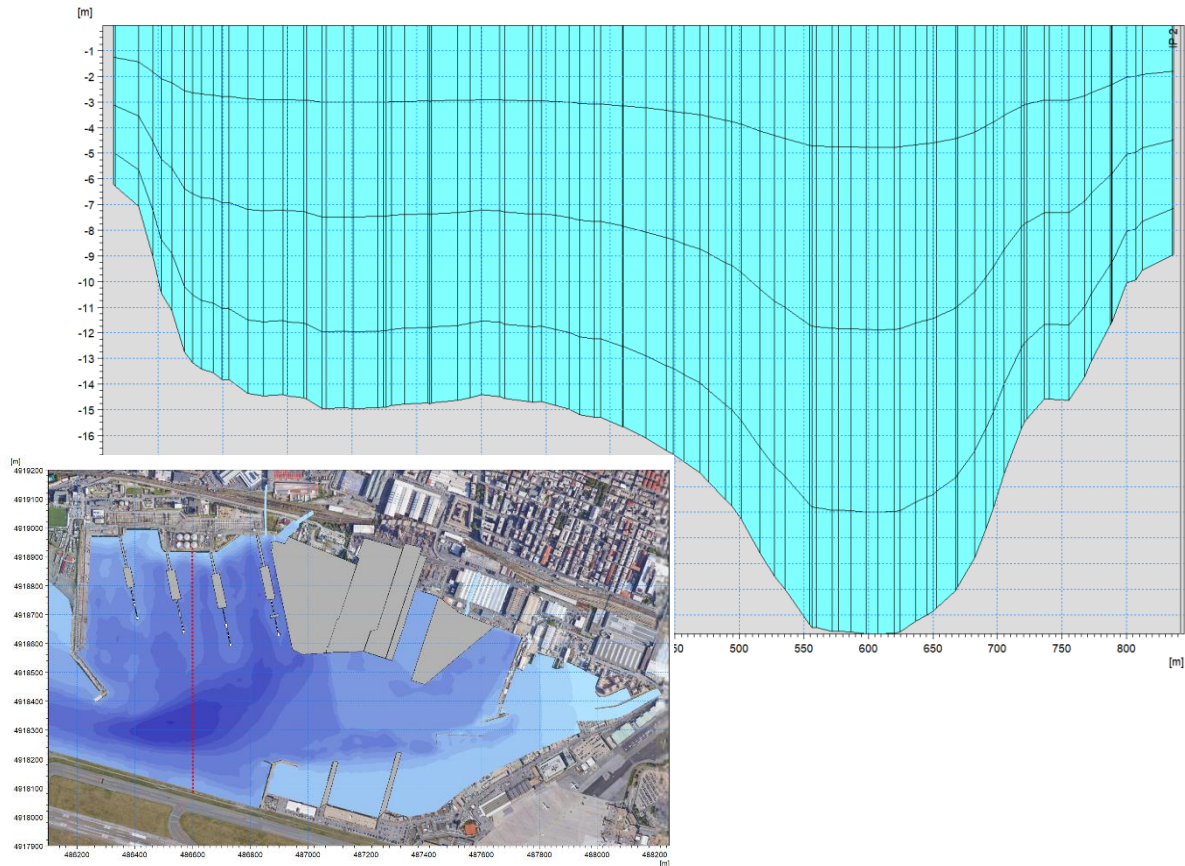


Figura 5-6 Esempio di discretizzazione della colonna d'acqua in *layers sigma*. Nell'immagine in basso la linea in rosso indica la traccia della sezione

## 5.3 Risultati delle simulazioni

Vengono riportati di seguito le mappe di circolazione ottenute all'interno del bacino portuale di Sestri Ponente negli scenari descritti nella sezione 5.1.

Si evidenzia che nelle immagini i vettori rappresentano in ogni punto la direzione del flusso e presentano una lunghezza proporzionale all'intensità della corrente stessa. Le velocità di corrente sono inoltre rappresentate dalla scala cromatica.

Per motivi di chiarezza espositiva, i risultati sono relativi a due profondità: lo strato superficiale e quello più prossimo al fondo, ossia il primo e l'ultimo dei livelli "sigma" del modello. Per lo scenario di marea (sezione 5.3.1) le mappe sono relative al solo livello superficiale in quanto i campi idrodinamici generati dalla marea non variano lungo la colonna d'acqua.

### 5.3.1 Scenario di marea

Nelle immagini a seguire vengono riportati i risultati per alcuni istanti temporali significativi (identificati in Figura 5-7 con le linee blu tratteggiate): in condizione di marea crescente (Figura 5-8, Figura 5-10, Figura 5-12), si generano correnti entranti, che si propagano da ovest verso est, mentre quando la marea è decrescente (Figura 5-9, Figura 5-11, Figura 5-13) le correnti sono uscenti, con direzione da est verso ovest. Le aree localizzate nella parte più a nord del bacino sono solo parzialmente interessate dal flusso d'acqua entrante ed uscente: nella fascia centrale del bacino, che si estende dall'imboccatura portuale alla zona della Marina, le velocità sono mediamente dell'ordine di 0.10 cm/s, mentre nelle altre zone le velocità sono più basse. Le

velocità maggiori, dell'ordine di 0.5 cm/s, si verificano in corrispondenza dell'imboccatura portuale. In particolare, le correnti sono tanto più intense quanto più le oscillazioni di marea sono ampie.

I risultati mostrano pertanto che le velocità delle correnti generate dalla sola marea astronomica sono in generale assai modeste, inferiori a 1 cm/s in tutto il bacino.

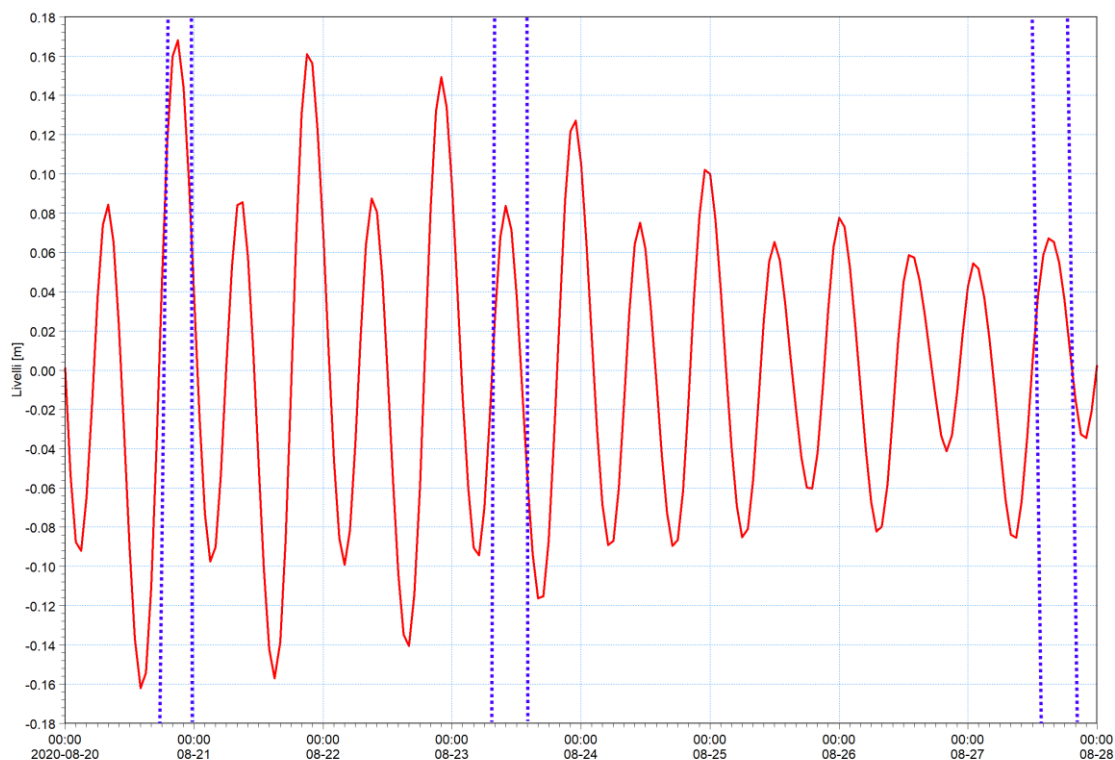


Figura 5-7 Individuazione degli istanti temporali (linee tratteggiate in blu) all'interno della serie di marea astronomica a cui si è fatto riferimento per la rappresentazione dei campi idrodinamici

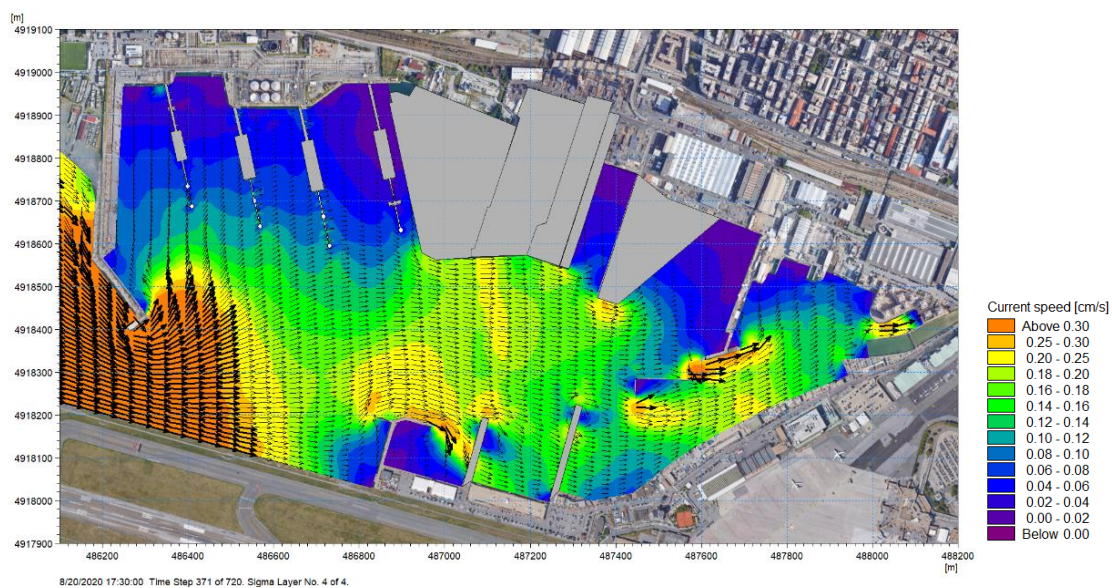


Figura 5-8 Campo idrodinamico generato dalla marea astronomica in fase crescente (20.08.2020 17:30 - Figura 5-7)

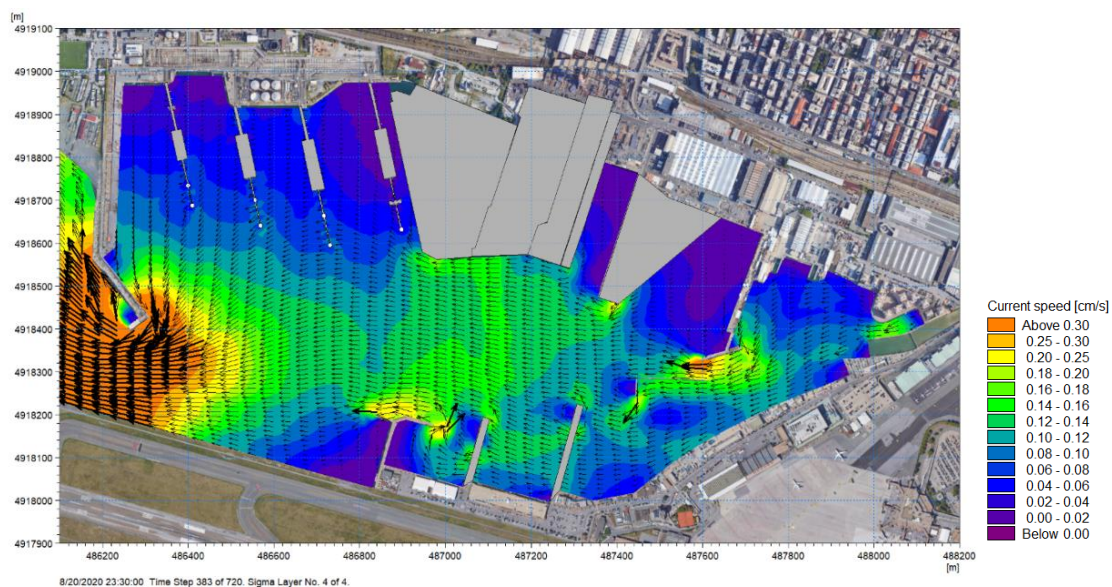


Figura 5-9 Campo idrodinamico generato dalla marea astronomica in fase decrescente (20.08.2020 23:30 - Figura 5-7)

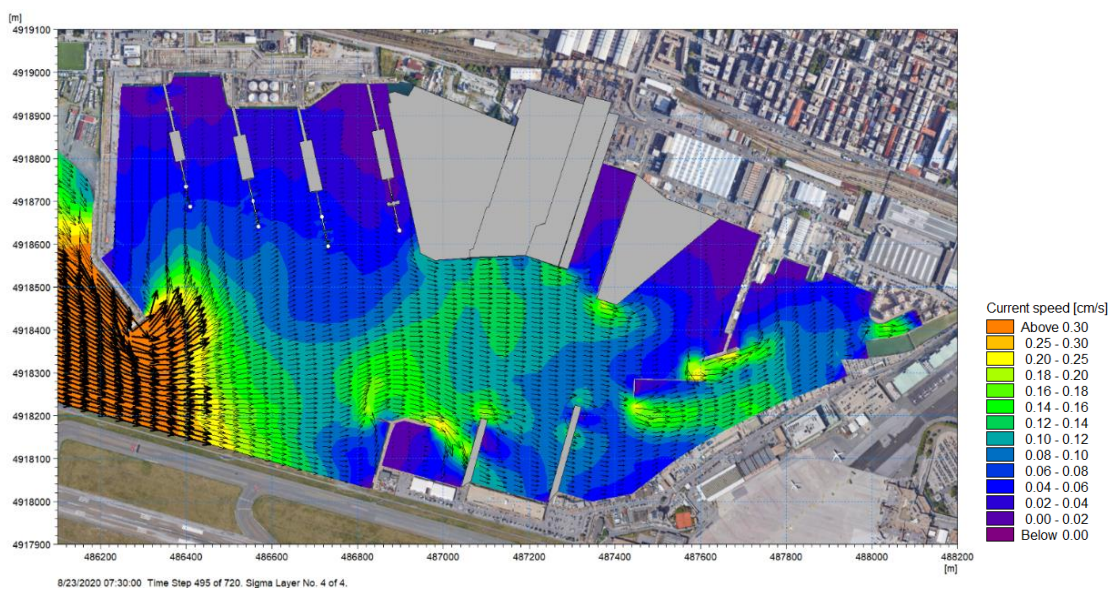


Figura 5-10 Campo idrodinamico generato dalla marea astronomica in fase crescente (23.08.2020 07:30)

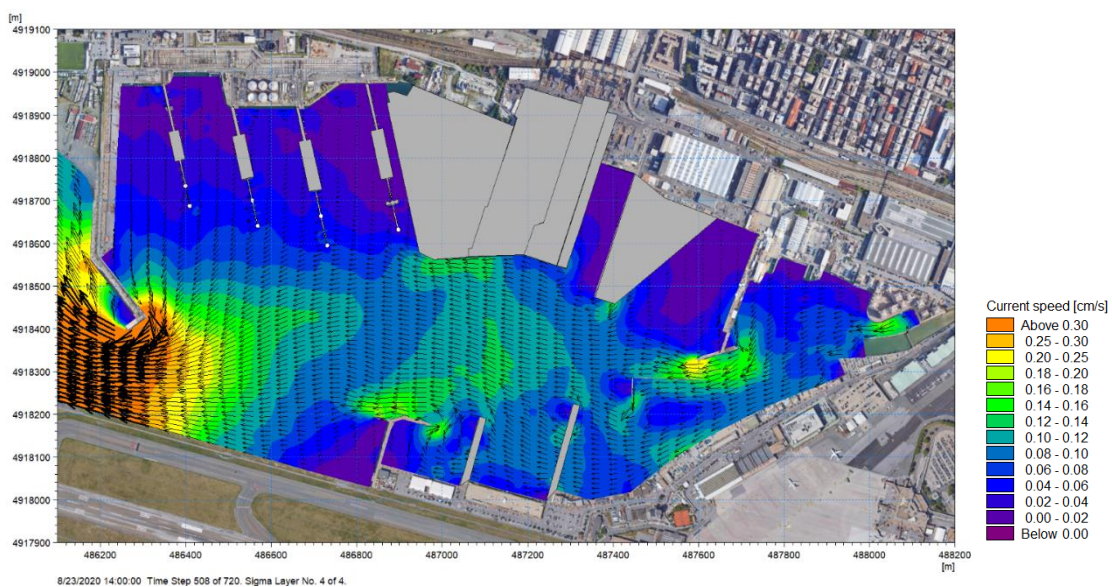


Figura 5-11 Campo idrodinamico generato dalla marea astronomica in fase decrescente (23.08.2020 14:00 - Figura 5-7)

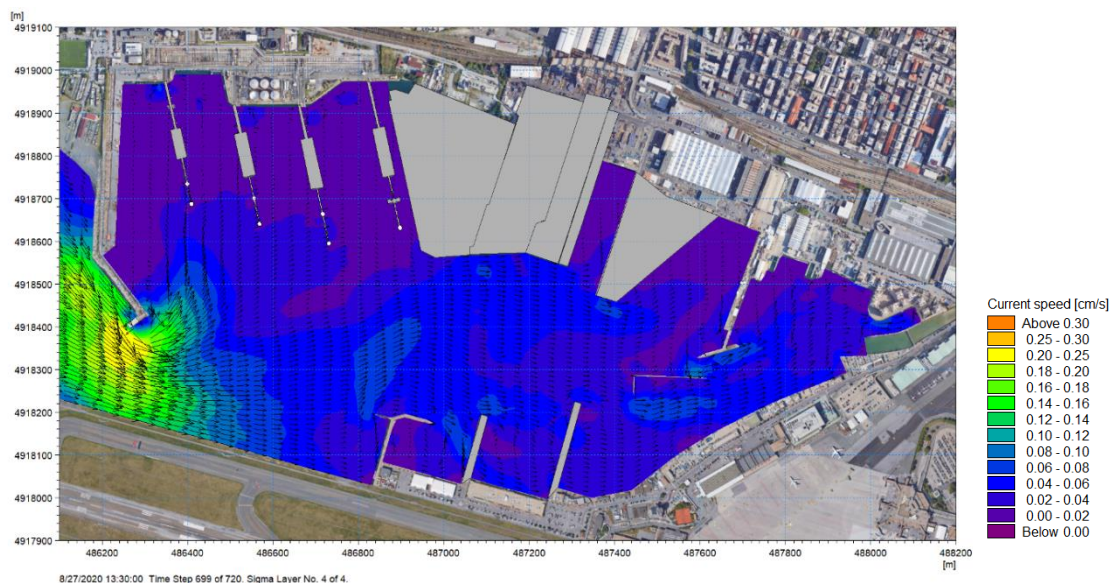


Figura 5-12 Campo idrodinamico generato dalla marea astronomica in fase crescente (27.08.2020 13:30)

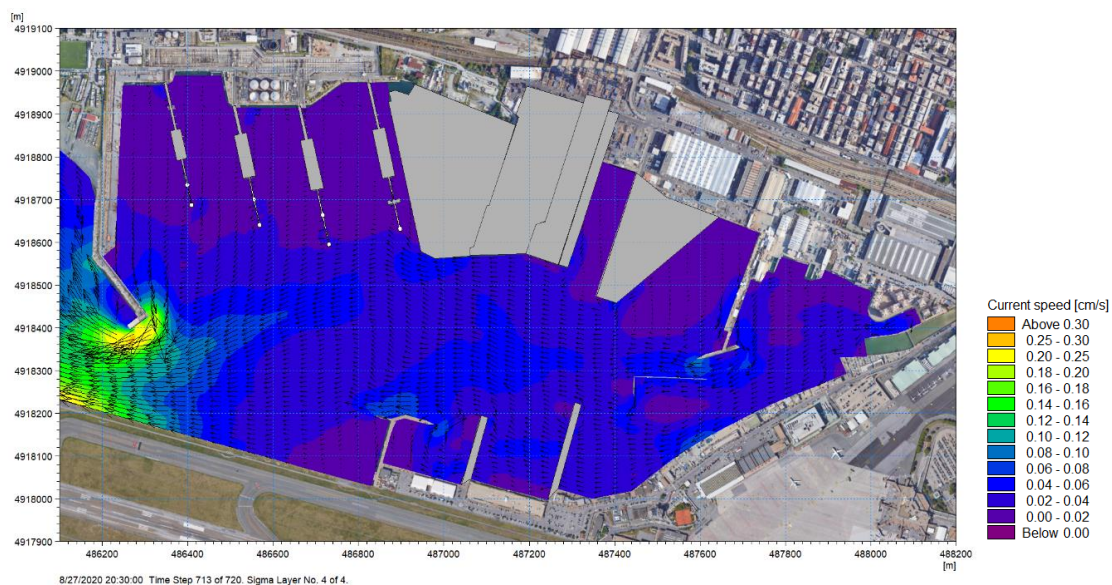


Figura 5-13 Campo idrodinamico generato dalla marea astronomica in fase decrescente (27.08.2020 20:30 - Figura 5-7)

### 5.3.2 Scenari di vento

I risultati dei campi idrodinamici generati dal solo vento mostrano che la corrente nello strato superficiale è fortemente dipendente dalla specifica condizione anemometrica di volta in volta considerata: la direzione principale di propagazione della corrente è concorde con quella del vento e le velocità sono proporzionali all'intensità del vento. Allontanandosi dalla superficie e procedendo verso il fondo le velocità di corrente diminuiscono.

Indipendentemente dal settore di provenienza considerato, le condizioni di vento di intensità pari al 50esimo percentile determinano un andamento della corrente del tutto analogo in termini di



direzioni a quello determinato dalle condizioni di vento di intensità pari al 98esimo percentile, ma con velocità di corrente più ridotte. Mediamente le velocità sono dell'ordine di 3-5 cm/s per venti al 98esimo percentile e 2-3 cm/s per i venti relativi al 50esimo percentile. In generale, le velocità più elevate, sempre comunque inferiori a 10 cm/s, si verificano laddove la corrente lambisce le strutture portuali.

Dal punto di vista delle direzioni, i campi idrodinamici variano lungo la colonna d'acqua in funzione della batimetria locale e dello sviluppo delle banchine. In generale, al fondo la corrente ha un verso di propagazione opposto rispetto alla superficie, per via delle correnti di ritorno che si creano negli strati più profondi.

Nella **parte centrale del bacino** la corrente in superficie presenta la stessa direzione di propagazione del vento, ma al fondo tale corrente ha, pressoché sempre, un verso opposto. In questa zona le velocità sono dell'ordine di 2-3 cm/s; le velocità più elevate si verificano in caso di vento dal II quadrante (125°N) e velocità relative al 98esimo percentile (10 m/s) che generano una corrente con velocità media di circa 5 cm/s in superficie e 3 cm/s al fondo. La corrente meno intensa (dell'ordine di 1 cm/s) si verifica per venti dal III (185°N) e IV quadrante (345°N) ed intensità del vento relativa al 50esimo percentile (3 m/s).

Nella **zona nord della Marina** tende a crearsi un vortice di dimensioni variabili che si mantiene con lo stesso verso su tutta colonna d'acqua: anticiclonico per le condizioni di vento dal I e IV quadrante e ciclonico per gli altri due quadranti. Le velocità sono mediamente di circa 1-2 cm/s per venti relativi al 50esimo percentile e 3-4 cm/s per venti relativi al 98esimo percentile.

Nella **zona sud della Marina** la corrente si propaga parallela alla banchina da nord-est verso sud-ovest, tranne per i venti provenienti dal III quadrante per i quali si sviluppa con verso opposto. Le velocità sono pari a circa 1-2 cm/s per i venti relativi al 50esimo percentile, e di circa 3-6 cm/s per i venti relativi al 98esimo percentile; per venti provenienti dal I quadrante (45°N) si raggiungono le velocità massime, pari a circa 10 cm/s.

Nell'area di **Porto Petroli** la corrente generata dai venti dal I e II quadrante è diretta pressoché parallelamente alla banchina portuale, da est verso ovest, sia in superficie che al fondo, con velocità che variano da 7-8 cm/s in superficie e 3-4 cm/s al fondo lungo la banchina, a 1-2 cm/s in corrispondenza delle testate dei pontili, per venti relativi al 98esimo percentile. Per venti relativi al 50esimo percentile le velocità lungo la banchina sono quasi dimezzate. Negli altri due scenari, siccome il vento è pressoché perpendicolare alla banchina, la corrente superficiale è diretta da sud verso nord, in caso di vento da 185°N, e da nord verso sud, per il vento da 345°N. Al fondo il verso di propagazione della corrente è opposto proprio a causa del flusso di ritorno che si genera. In questo caso le velocità sono assai ridotte, pari a circa 1-3 cm/s per venti relativi al 98esimo percentile ed inferiori a 1 cm/s per venti relativi al 50esimo percentile.

Nell'area di **Fincantieri** le velocità sono in generale modeste, sempre inferiori a 3 cm/s per i venti relativi al 98esimo percentile (la condizione che crea la maggiore idrodinamica in questa zona è il vento proveniente dal III quadrante che crea un flusso entrante) ed inferiori a 1.5 cm/s per i venti relativi al 50esimo percentile.

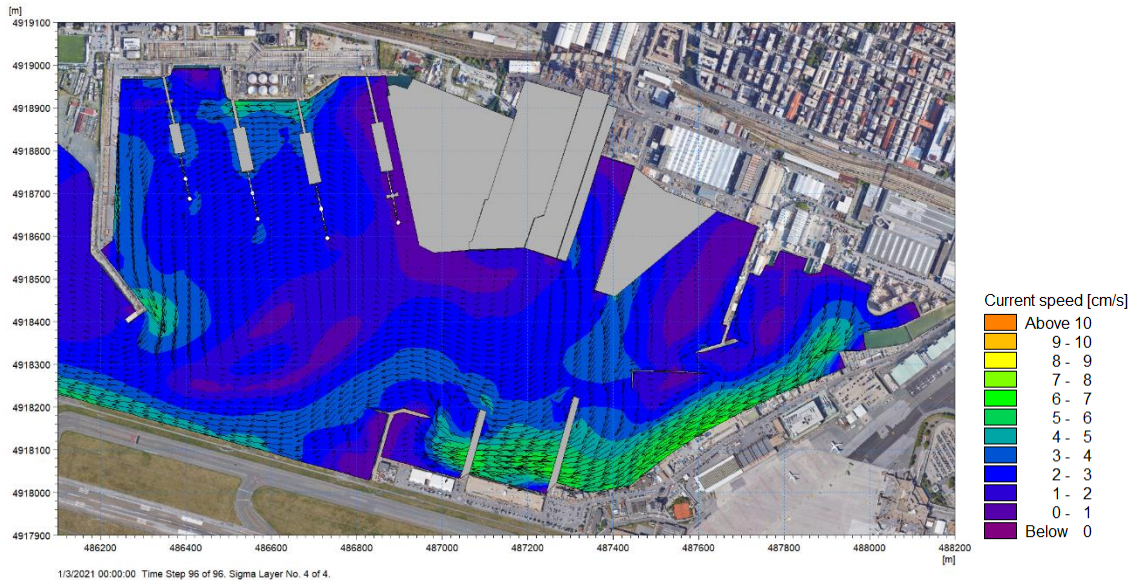


Figura 5-14 Campo idrodinamico generato dal vento proveniente dal I quadrante e velocità corrispondente al 50esimo percentile (WS=5 m/s, WD=45°N) in superficie

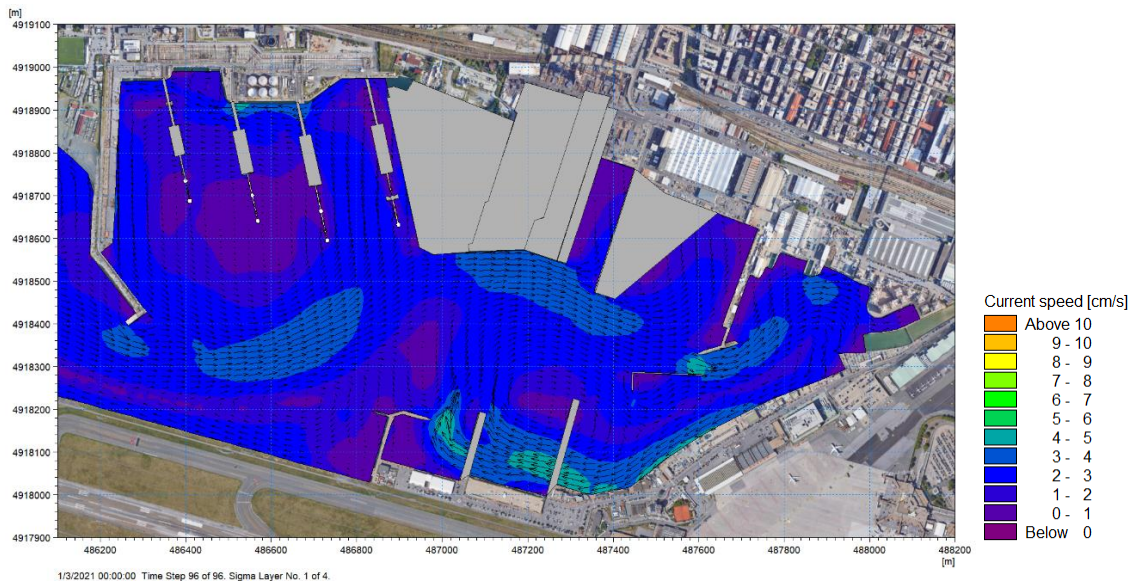


Figura 5-15 Campo idrodinamico generato dal vento proveniente dal I quadrante e velocità corrispondente al 50esimo percentile (WS=5 m/s, WD=45°N) al fondo

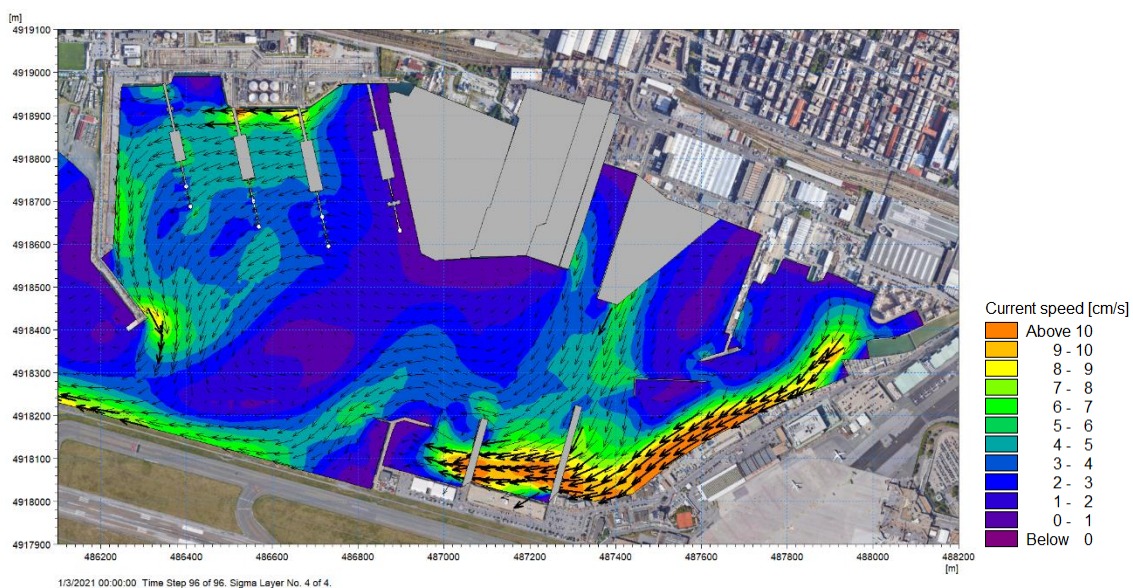


Figura 5-16 Campo idrodinamico generato dal vento proveniente dal I quadrante e velocità corrispondente al 98esimo percentile (WS=10 m/s, WD=45°N) in superficie

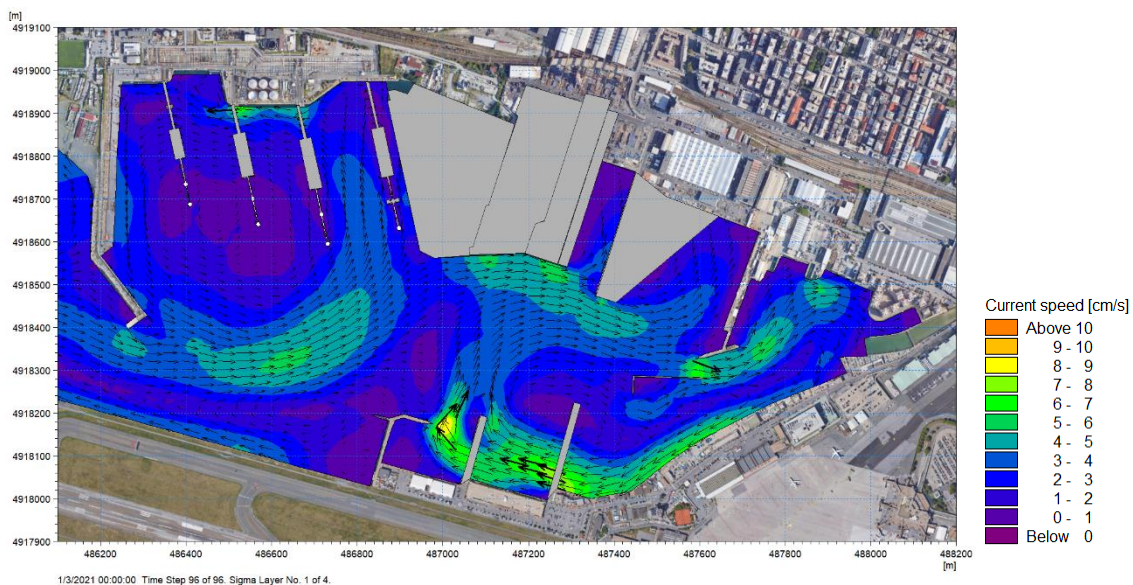


Figura 5-17 Campo idrodinamico generato dal vento proveniente dal I quadrante e velocità corrispondente al 98esimo percentile (WS=10 m/s, WD=45°N) al fondo

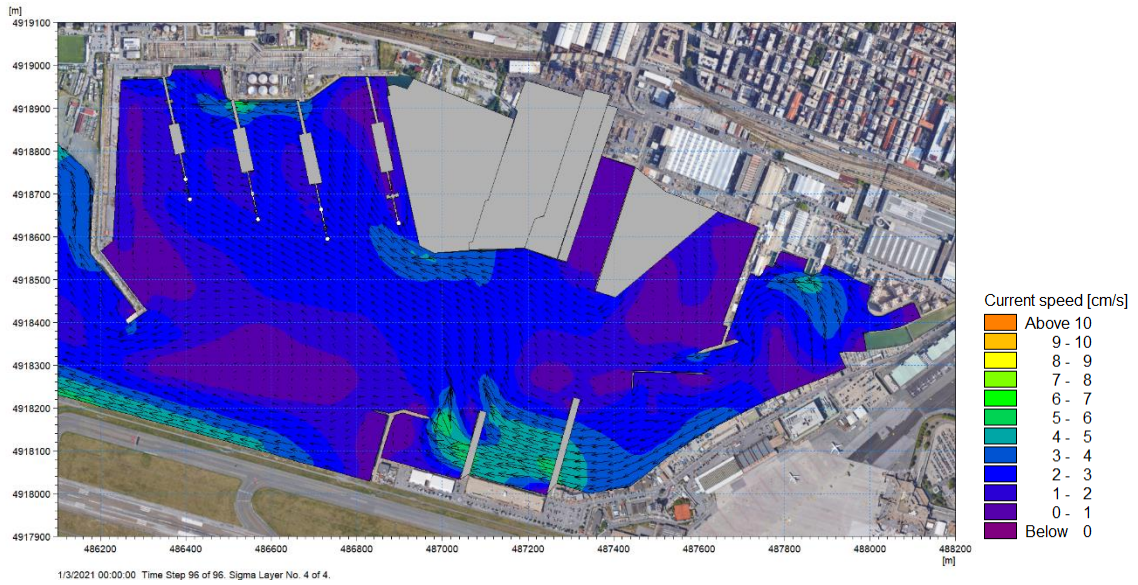


Figura 5-18 Campo idrodinamico generato dal vento proveniente dal II quadrante e velocità corrispondente al 50esimo percentile (WS=4 m/s, WD=125°N) in superficie

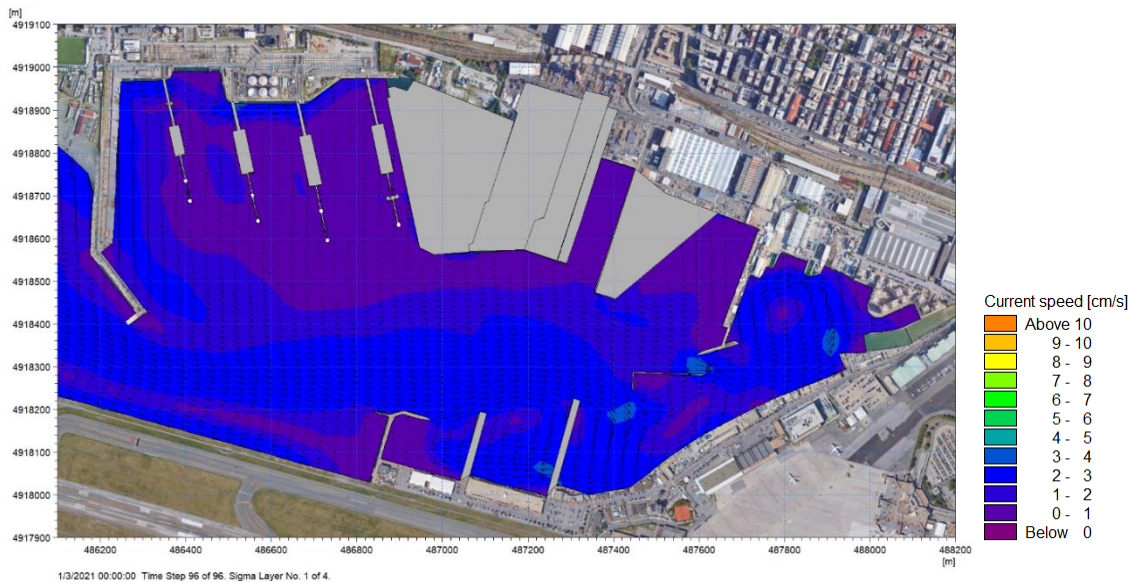


Figura 5-19 Campo idrodinamico generato dal vento proveniente dal II quadrante e velocità corrispondente al 50esimo percentile (WS=4 m/s, WD=125°N) al fondo

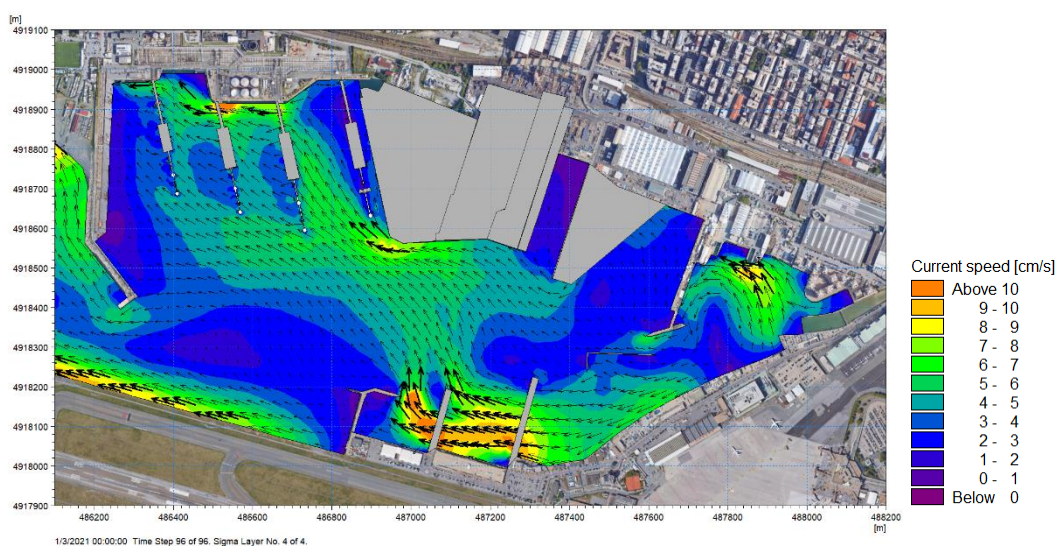


Figura 5-20 Campo idrodinamico generato dal vento proveniente dal II quadrante e velocità corrispondente al 98esimo percentile (WS=10 m/s, WD=125°N) in superficie

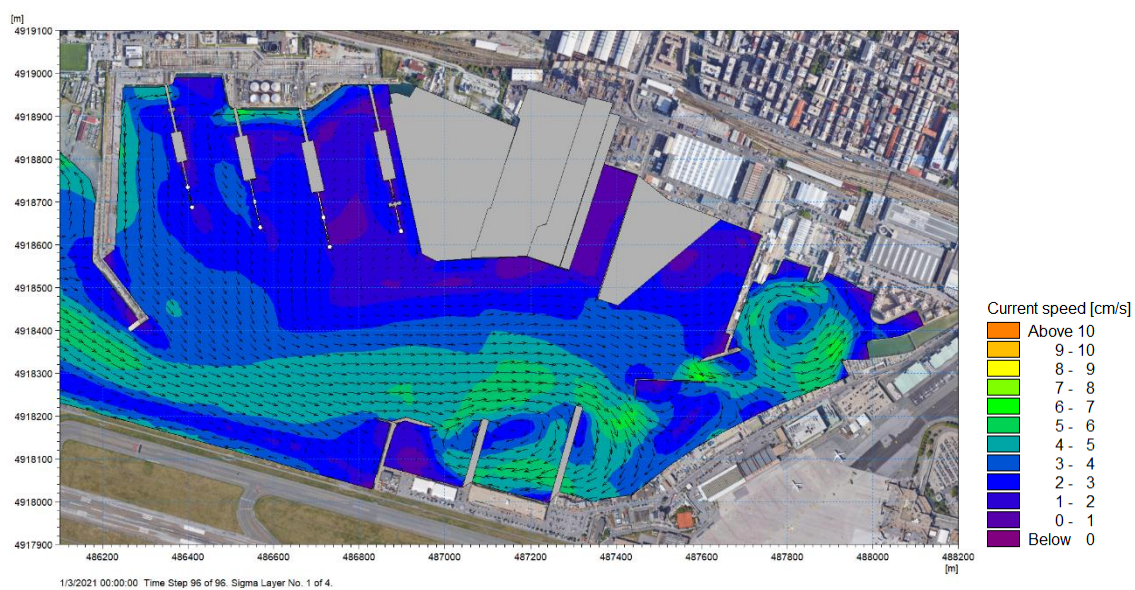


Figura 5-21 Campo idrodinamico generato dal vento proveniente dal II quadrante e velocità corrispondente al 98esimo percentile (WS=10 m/s, WD=125°N) al fondo

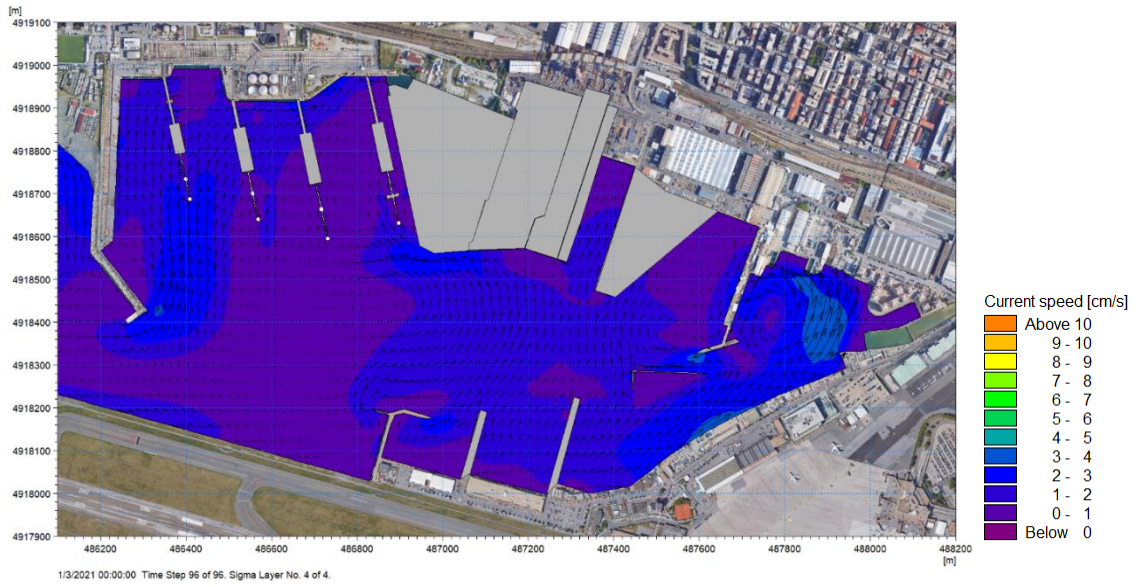


Figura 5-22 Campo idrodinamico generato dal vento proveniente dal III quadrante e velocità corrispondente al 50esimo percentile (WS=3 m/s, WD=185°N) in superficie

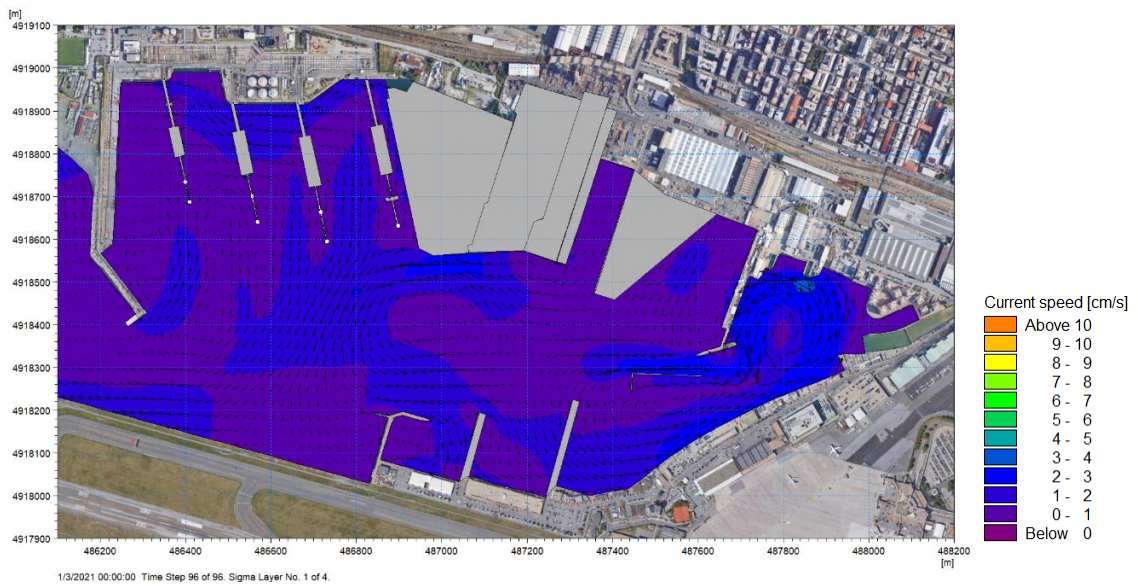


Figura 5-23 Campo idrodinamico generato dal vento proveniente dal III quadrante e velocità corrispondente al 50esimo percentile (WS=3 m/s, WD=185°N) al fondo

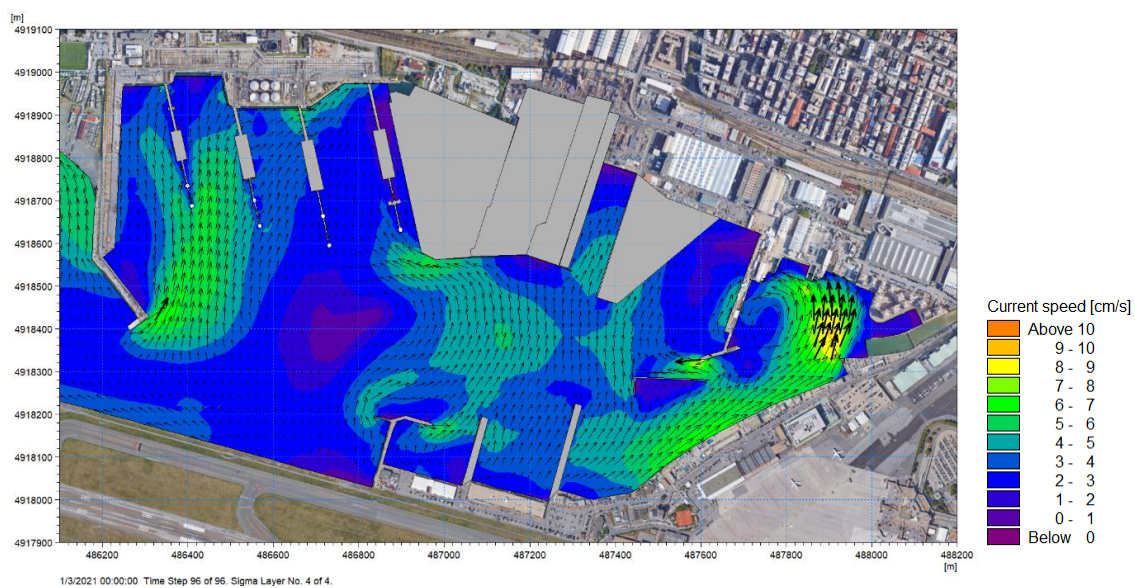


Figura 5-24 Campo idrodinamico generato dal vento proveniente dal III quadrante e velocità corrispondente al 98esimo percentile (WS=9 m/s, WD=185°N) in superficie

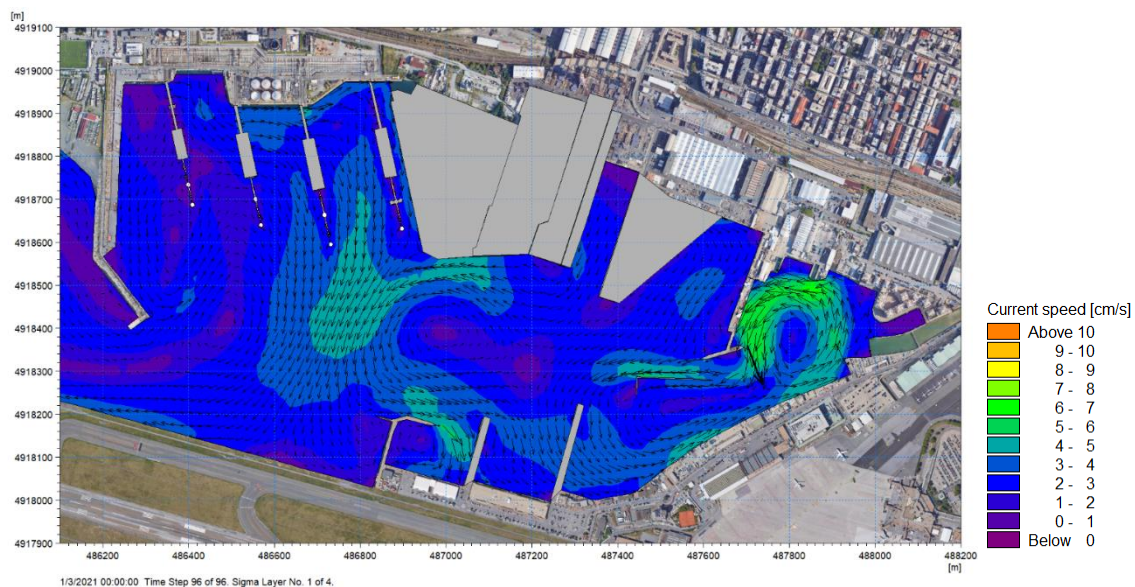


Figura 5-25 Campo idrodinamico generato dal vento proveniente dal III quadrante e velocità corrispondente al 98esimo percentile (WS=9 m/s, WD=185°N) al fondo

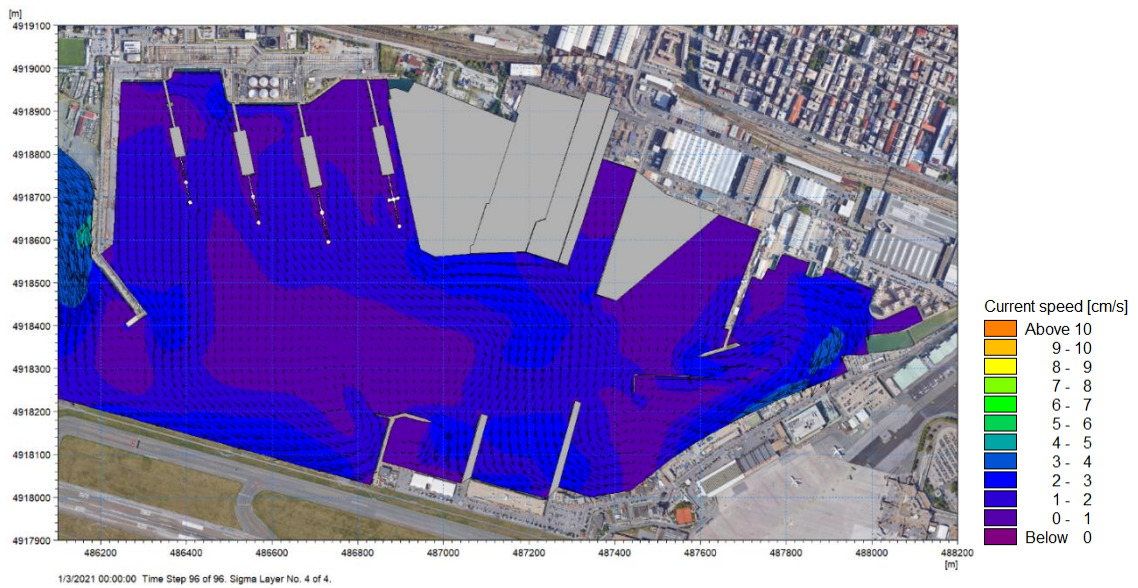


Figura 5-26 Campo idrodinamico generato dal vento proveniente dal IV quadrante e velocità corrispondente al 50esimo percentile (WS=3 m/s, WD=345°N) in superficie

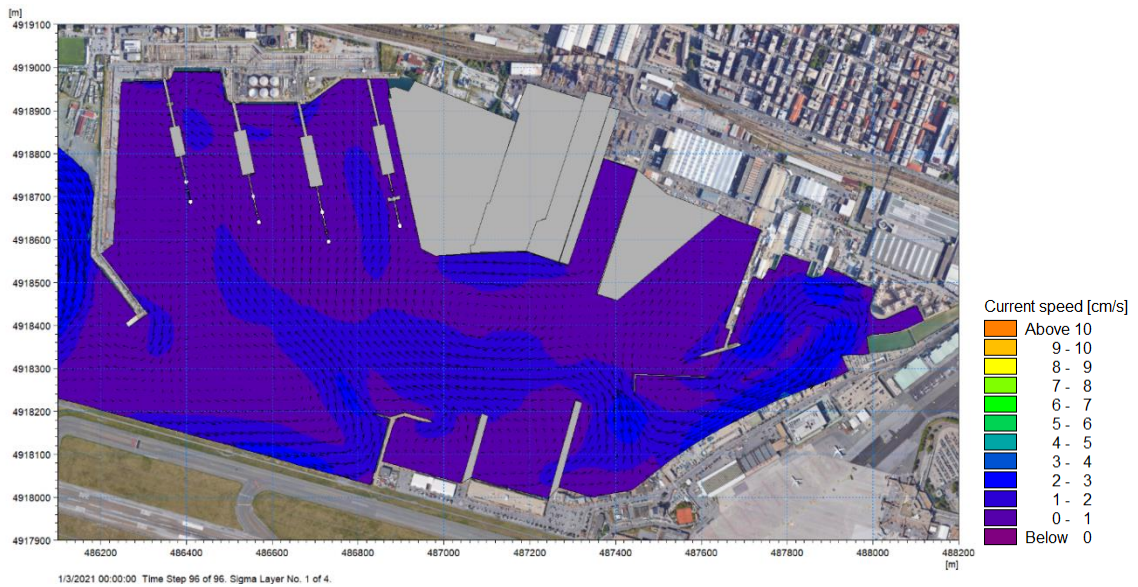


Figura 5-27 Campo idrodinamico generato dal vento proveniente dal IV quadrante e velocità corrispondente al 50esimo percentile (WS=3 m/s, WD=345°N) al fondo



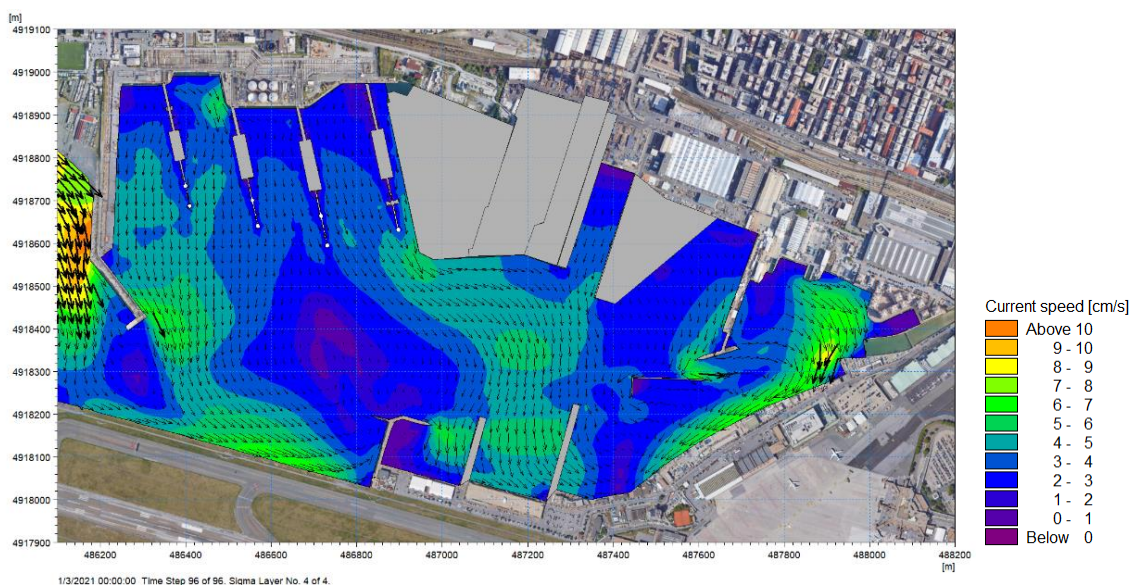


Figura 5-28 Campo idrodinamico generato dal vento proveniente dal IV quadrante e velocità corrispondente al 98esimo percentile (WS=9 m/s, WD=345°N) in superficie

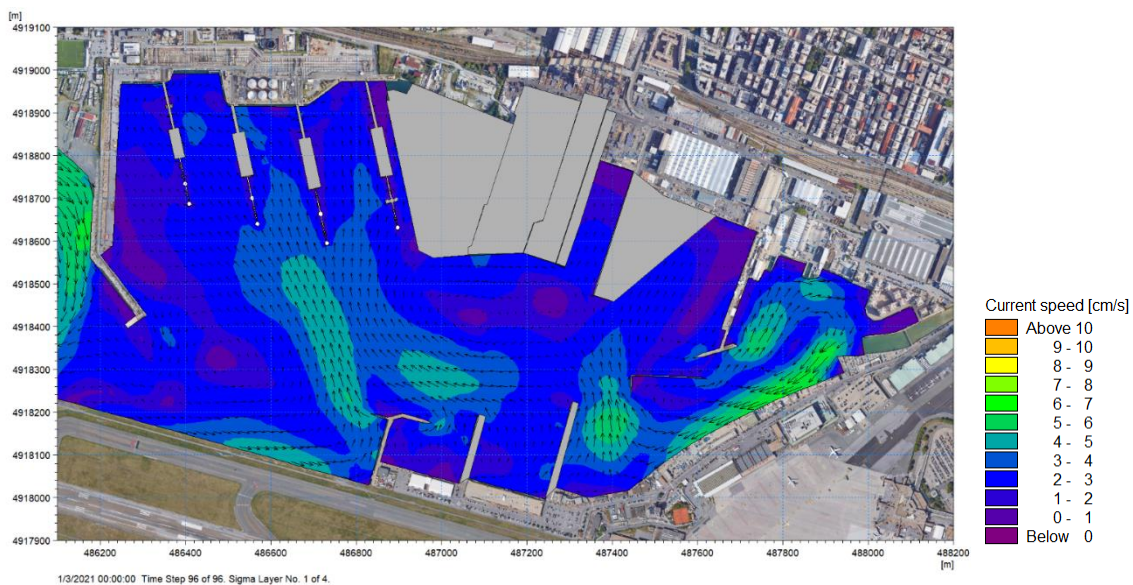


Figura 5-29 Campo idrodinamico generato dal vento proveniente dal IV quadrante e velocità corrispondente al 98esimo percentile (WS=9 m/s, WD=345°N) al fondo

### 5.3.3 Scenario di portata fluviale

Nelle immagini a seguire sono riportati i risultati ottenuti in termini di campi idrodinamici generati dalle portate fluviali, relative ad un periodo di ritorno di 10 anni, defluenti dal torrente Chiaravagna, rio Cantarena, rio Molinassi e rio Marotto. Data l'esiguità delle superfici dei bacini, si è assunto, cautelativamente, la concomitanza della piena decennale dei quattro corsi d'acqua.

Si osserva che la corrente più intensa è generata dal torrente Chiaravagna, il corso d'acqua caratterizzato dalla portata maggiore, circa un ordine di grandezza superiore alle portate degli altri rii. L'area interessata dal flusso in uscita da questo torrente è la porzione di bacino più interna, che ospita numerose associazioni sportive. La portata defluente genera un flusso che, in corrispondenza del molo Tankoa, si suddivide in tre parti: il flusso principale prosegue rettilineo diminuendo gradualmente la sua intensità fino a raggiungere, in superficie, velocità inferiori a 0.1 m/s a circa 1100 m dalla foce; le stesse velocità si raggiungono al fondo ad una distanza di circa 900 m. Gli altri due flussi secondari creano due vortici, che lambiscono le banchine portuali che delimitano l'area: il flusso a nord crea un vortice anticiclonico, mentre quello a sud ne crea uno ciclonico, con velocità medie dell'ordine di 0.15 m/s.

La portata in uscita dal rio Cantarena crea un flusso che si sviluppa, in superficie, oltre il canale di calma con velocità di circa 0.3 m/s, che si riducono a 0.15 m/s in corrispondenza del molo Tankoa. Questo flusso lambisce il molo per l'intera lunghezza e si unisce poi al flusso principale generato dal torrente Chiaravagna. Al fondo il flusso si esaurisce completamente all'interno del canale di calma, infatti nella zona compresa tra il piazzale ed il molo le velocità sono assai modeste (dell'ordine di 0.03 m/s)

L'idrodinamica in corrispondenza delle foci dei rii Molinassi e Marotto è governata dal rio Molinassi, che presenta una portata pari a circa 3 volte quella del rio Marotto: il flusso si propaga infatti da est verso ovest, lambendo la banchina di Porto Petroli con velocità di circa 0.15 m/s in superficie e circa la metà al fondo. Nell'area di confluenza dei due rii, compresa tra il primo molo di Porto Petroli ad ovest ed il nuovo piazzale ad est, le velocità di corrente sono di circa 0.5-1.0 m/s in superficie e 0.3-0.5 m/s al fondo.

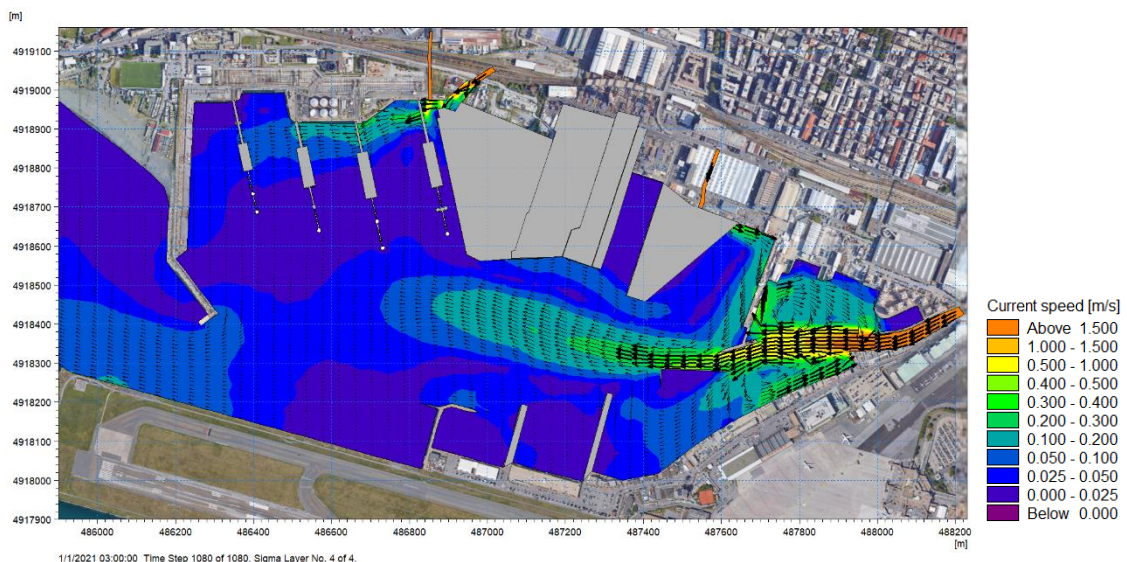


Figura 5-30 Campo idrodinamico superficiale generato dalle portate fluviali con  $T_R=10$  anni

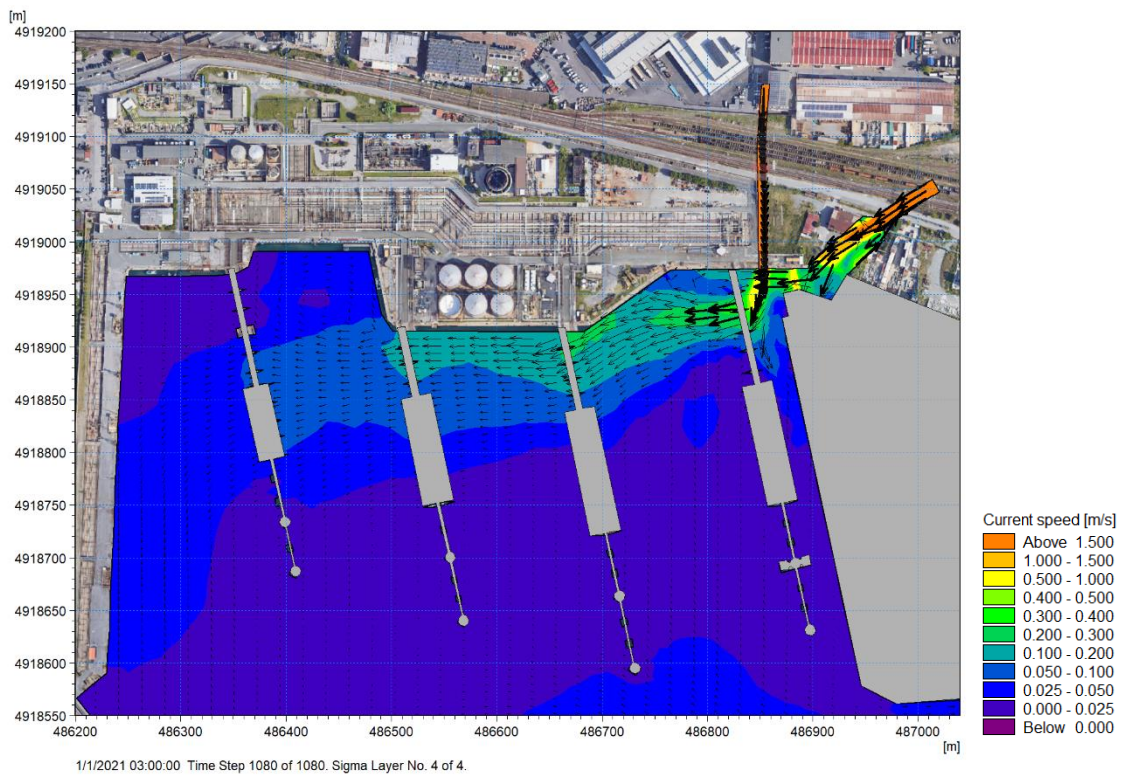


Figura 5-31 Campo idrodinamico superficiale generato dalle portate fluviali con  $T_R=10$  anni – dettaglio delle foci del rio Marotto e del rio Molinassi

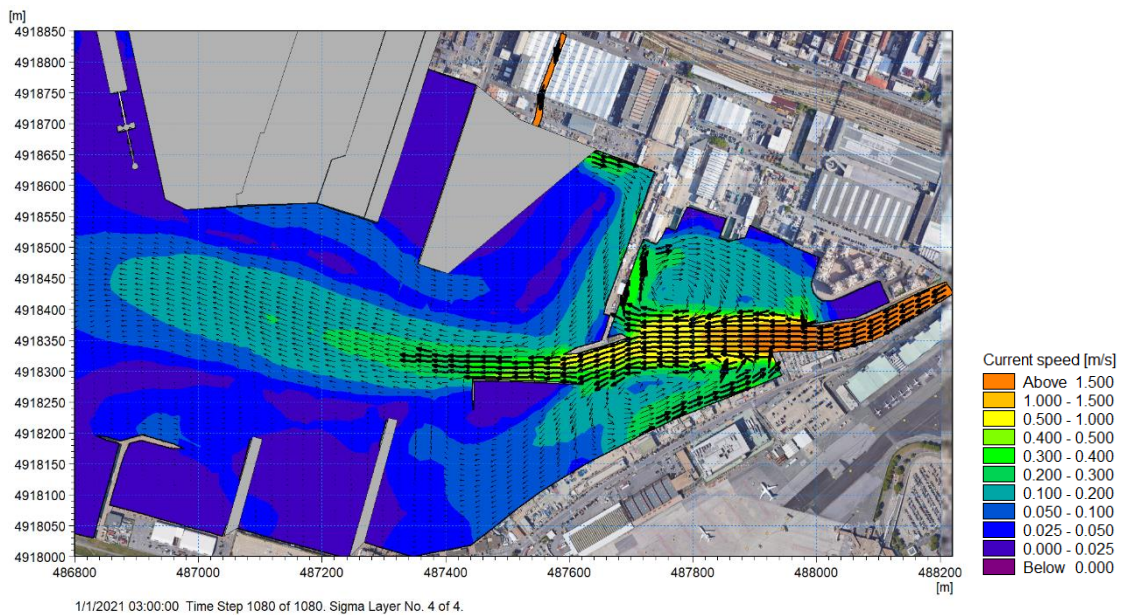


Figura 5-32 Campo idrodinamico superficiale generato dalle portate fluviali con  $T_R=10$  anni – dettaglio delle foci del rio Cantarena e del torrente Chiaravagna

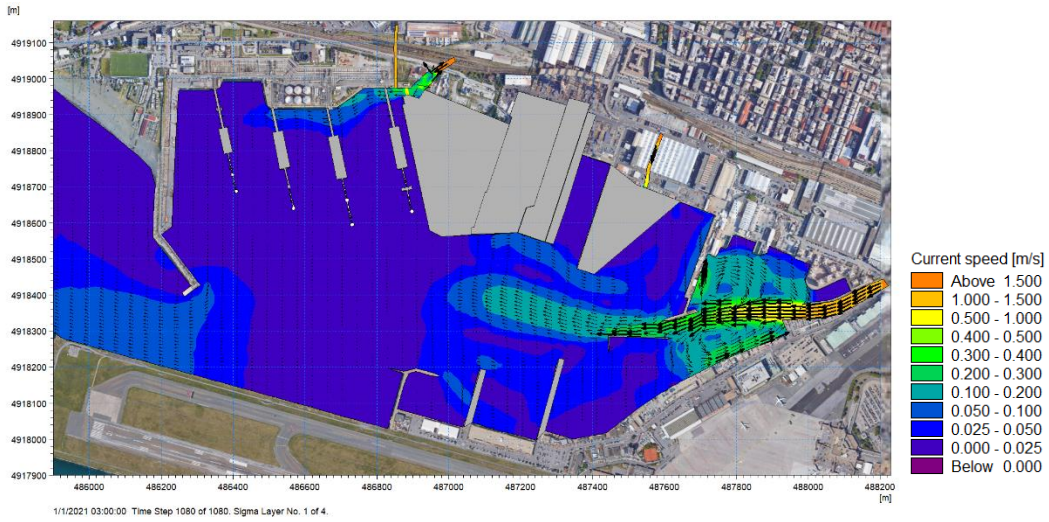


Figura 5-33 Campo idrodinamico al fondo generato dalle portate fluviali con  $T_R= 10$  anni

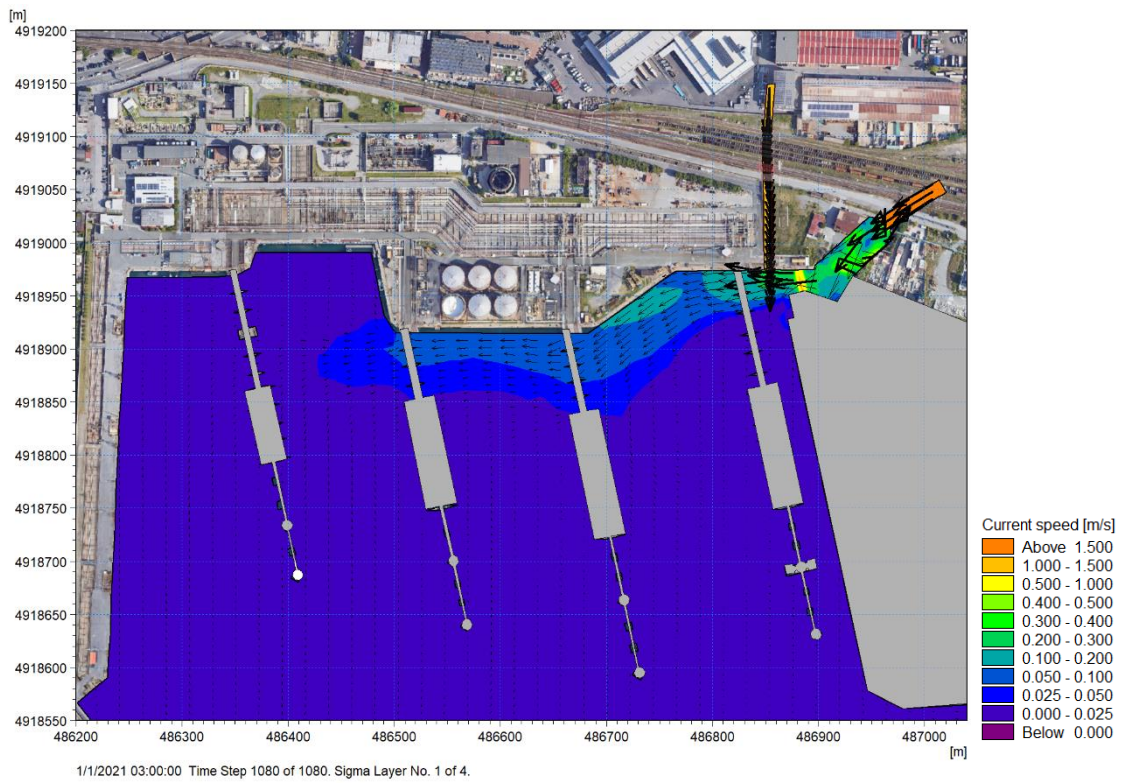


Figura 5-34 Campo idrodinamico al fondo generato dalle portate fluviali con  $T_R= 10$  anni – dettaglio delle foci del rio Marotto e del rio Molinassi

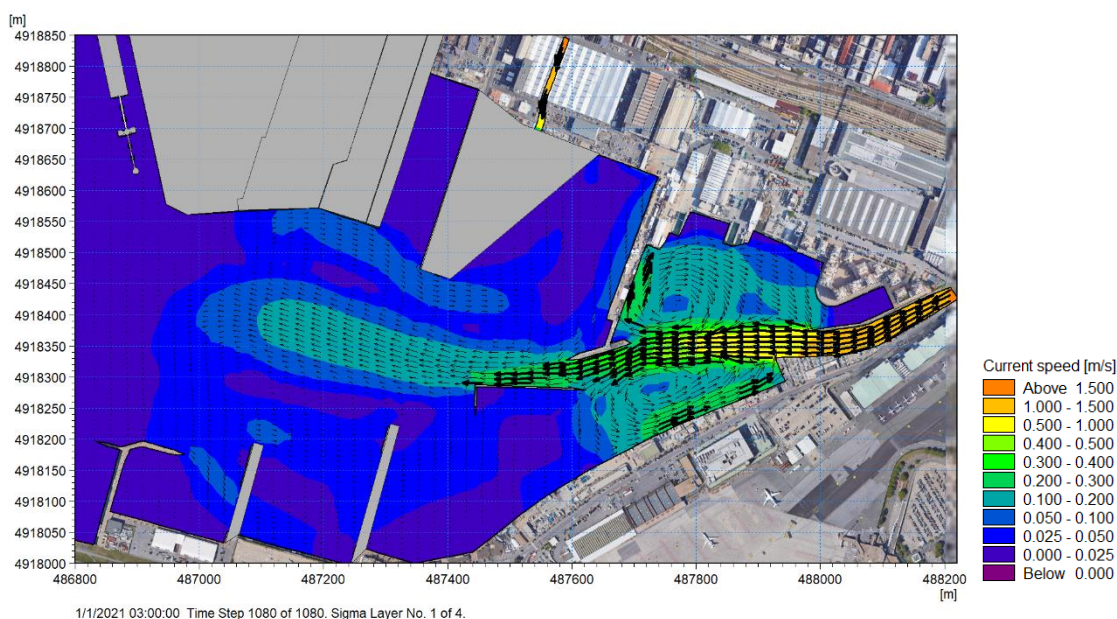


Figura 5-35 Campo idrodinamico al fondo generato dalle portate fluviali con  $T_R=10$  anni – dettaglio delle foci del rio Cantarena e del torrente Chiaravagna

## 6 Modello del ricambio idrico del bacino

La qualità delle acque interne ai bacini naturali o portuali è strettamente collegata alla circolazione idrica interna: una buona circolazione, indotta da particolari condizioni meteomarine, favorisce il ricambio idrico delle acque, disperdendo rapidamente eventuali inquinanti presenti all'interno del bacino.

In generale, gli studi di circolazione sono fortemente influenzati dalla scelta delle forzanti che contribuiscono alla definizione dell'idrodinamica locale. Quelle che svolgono un ruolo rilevante nelle dinamiche di circolazione idrica sono essenzialmente tre: vento, variazioni dei livelli del mare e moto ondoso. Nel caso specifico si è deciso di ricostruire il campo idrodinamico facendo riferimento alle sole variazioni del livello del mare e al vento; tale scelta si pone a vantaggio di sicurezza in considerazione del fatto che le onde sono spesso trascurabili all'interno del bacino.

Con lo scopo di rappresentare la complessa variabilità idrodinamica in gioco, le simulazioni sviluppate per la valutazione del ricambio idrico all'interno del bacino sono state predisposte per un periodo reale medio-lungo, pari ad un mese.

In particolare, l'analisi è stata condotta in riferimento a due finestre temporali: una potenzialmente più critica ai fini del ricambio idrico, ossia in riferimento ad un periodo estivo, quando i fenomeni meteo-marini non risultano particolarmente intensi, ed una più frequente per il sito, ossia in condizioni idrodinamiche medie.

Dal punto di vista idrodinamico, è stato pertanto predisposto un modello al fine di ricostruire per 2 mesi distinti (31 giorni ciascuno) la reale circolazione che si instaura nel sito di interesse in presenza di vento e variazioni di livello.

Per quanto riguarda la stima dei tempi di ricambio idrico, è stata analizzata la dispersione di un ipotetico inquinante (tracciante) posto inizialmente ad una concentrazione pari a 100 in tutta l'area interna al bacino: il ricambio del volume d'acqua compreso entro l'imboccatura portuale è totale quando la concentrazione del tracciante è ovunque nulla. Si evidenzia che, in considerazione

dell'elevato volume da ricambiare e delle assunzioni cautelative fatte, un mese non sarà sufficiente per garantire il ricambio dell'intero volume d'acqua; obiettivo del presente studio è pertanto analizzare il grado di ricambio che si verifica nelle varie parti del bacino dopo 31 giorni.

Per lo sviluppo di questa analisi è stata applicata opportuna modellistica numerica tridimensionale ed in particolare il modello di qualità MIKE 3 AD – *Advection-Dispersion* [2] accoppiato dinamicamente al modello idrodinamico MIKE 3 HD – *Hydrodynamics* [1].

La descrizione di questi modelli è riportata negli Allegati A e B al presente documento.

Il modulo MIKE 3 AD simula il comportamento di sostanze in sospensione o disciolte in acqua per effetto del flusso idrodinamico (avvezione) e dei processi di dispersione. Le sostanze simulate sono essenzialmente conservative, ma può essere applicato anche un decadimento di primo ordine. Il modulo di avvezione/dispersione può essere applicato ad un'ampia gamma di fenomeni idraulici. Le aree di applicazione sono generalmente legate all'idrodinamica ed al trasporto di sostanze disciolte, simulazioni di traccianti, studi di ricircolo di bacini portuali e studi di qualità delle acque in generale. Il sistema modellistico del modulo AD è basato sulla soluzione numerica delle equazioni di Navier-Stokes valide per fluidi incomprimibili e soggette all'assunzione di Boussinesq e alla pressione idrostatica.

## 6.1 Selezione dei periodi di simulazione

Come anticipato, lo studio viene affrontato considerando sia le condizioni potenzialmente più critiche dal punto di vista del ricambio idrico, tipiche del periodo estivo, sia le condizioni idrodinamiche medie in riferimento ad un mese tipico dal punto di vista anemometrico.

La scelta dei periodi di simulazione è stata affrontata facendo riferimento alle uniche due forzanti considerate per la generazione della circolazione, ossia i livelli del mare (sezione 4.2) ed il vento (sezione 4.1).

Il vento rappresenta la forzante con maggiore variabilità durante l'anno; l'analisi dei dati di vento, dettagliata nella sezione 4.1, ha messo in evidenza che il mese caratterizzato da valori mediamente più bassi è Luglio, mentre il mese "medio" dal punto di vista dell'intensità del vento è Marzo. Una volta individuati i mesi, si è reso necessario individuare l'anno di riferimento per la simulazione. A tale scopo i valori di velocità del vento medi mensili calcolati sull'intero periodo a disposizione (1973-2019) sono stati messi a confronto con i valori medi del singolo mese per ciascuno dei 47 anni disponibili. Contemporaneamente, è stata verificata la disponibilità dei dati di livello registrati dal mareografo di Genova, che ha portato a scartare gli anni antecedenti al 2010 e quelli compresi tra il 2015 ed il 2018, per assenza di dati.

Da questa analisi è stato possibile identificare i due mesi di riferimento per il presente studio (Figura 6-1), ossia Luglio 2019 (condizione a basso idrodinamismo) e Marzo 2019 (condizione media).

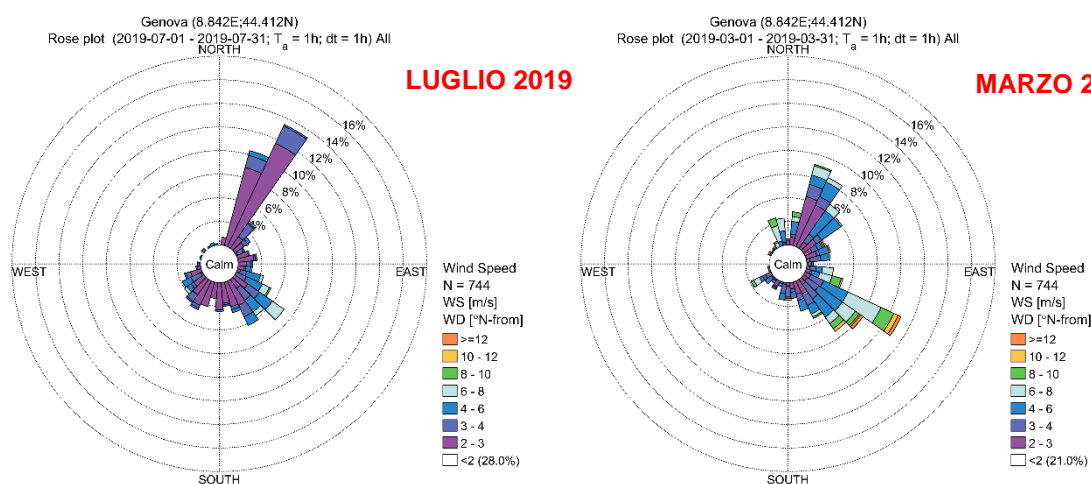


Figura 6-1 Rose del vento relative al mese di Luglio 2019 (a sinistra) e Marzo 2019 (a destra) relative alla stazione NOAA (Figura 4-1). La calma è qui associata ad intensità inferiori a 2 m/s

Il modello idrodinamico è stato pertanto implementato facendo riferimento ai dati reali di vento e di livello relativi a tutto il mese di Luglio 2019 e di Marzo 2019.

## 6.2 Dominio di calcolo e batimetria

Il modello di ricambio idrico è stato implementato su un dominio di calcolo avente un'estensione ed una risoluzione identiche a quella del dominio utilizzato per il modello di circolazione.

## 6.3 Risultati del modello idrodinamico

Il modello idrodinamico MIKE 3 HD è stato implementato per il mese di Luglio 2019 e Marzo 2019, utilizzando come condizioni al contorno le variazioni di livello del medio mare in riferimento alla serie osservata del mareografo di Genova (sezione 4.2) e come forzante il vento (sezione 4.1) per i periodi dall'01.07.2019 al 31.07.2019 e dall'01.03.2019 al 31.03.2019.

Le considerazioni relative ai risultati ottenuti con il modello idrodinamico sono coerenti con quanto già riportato per gli scenari di marea e di vento esposti nelle sezioni 5.3.1 e 5.3.2. D'altra parte, trattandosi di uno scenario realistico non stazionario, l'idrodinamica varia ad ogni istante ed il ricambio idrico che si verifica alla fine del mese preso a riferimento è il risultato dell'evoluzione dell'idrodinamica del bacino durante i 31 giorni simulati; risulta pertanto poco significativo la rappresentazione dei campi idrodinamici per specifici istanti temporali.

## 6.4 Risultati del modello di ricambio idrico

Una volta ricostruita la circolazione locale, al modello MIKE 3 HD è stato accoppiato il modello di avvezione-dispersione ("trasporto") MIKE 3 AD, per entrambi i mesi analizzati.

Per il modello di trasporto, le simulazioni sono caratterizzate da una condizione iniziale in termini di concentrazione di un ipotetico tracciante pari a 100, lungo tutta la colonna d'acqua, nel bacino delimitato dall'imboccatura portuale. La condizione iniziale è mostrata in Figura 6-2, dove in rosso è rappresentata una concentrazione di tracciante pari a 100, mentre nelle aree in bianco la concentrazione di tracciante è nulla.

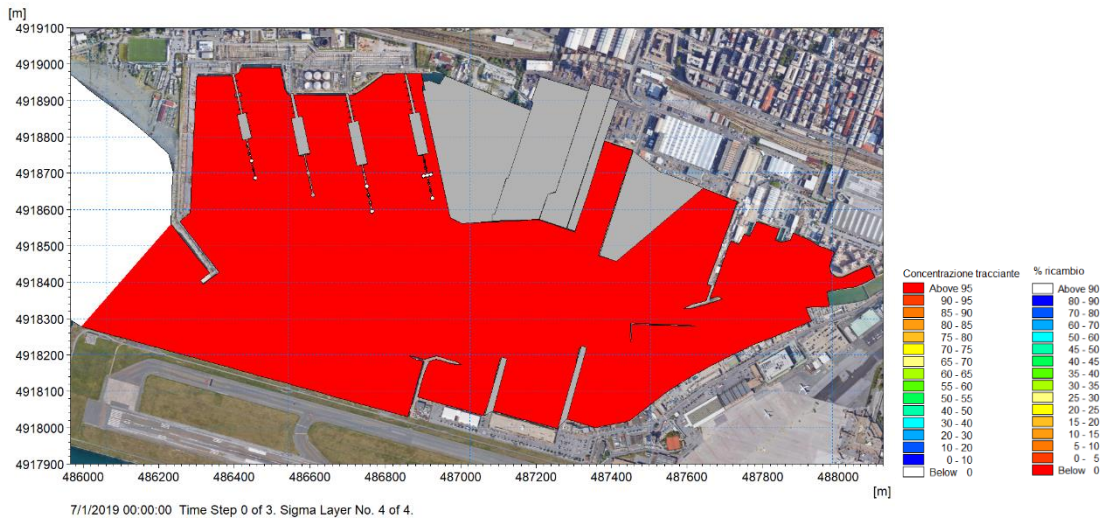


Figura 6-2 Condizioni iniziali del modello MIKE 3 AD

La concentrazione iniziale pari a 100 permette di ricavare immediatamente la percentuale di ricambio idrico nel tempo: al primo istante temporale, quando la concentrazione è pari a 100, lo 0% del volume d'acqua è stato ricambiato. Al passare del tempo il tracciante viene gradualmente trasportato verso l'esterno e, pertanto, la concentrazione all'interno del bacino diminuisce nel tempo e, di conseguenza, il ricambio aumenta gradualmente fino ad essere totale (pari al 100%), ossia fino alla completa scomparsa del tracciante (concentrazione nulla). Come anticipato, in considerazione dell'elevato volume d'acqua in gioco e delle condizioni di basso idrodinamismo a cui si è fatto riferimento, questa condizione di ricambio totale non si verifica entro i 31 giorni considerati.

Grazie all'applicazione del modello MIKE 3 AD, la variazione nel tempo e nello spazio, in funzione delle specifiche condizioni idrodinamiche, della concentrazione del tracciante è stata ottenuta su tutto il dominio di calcolo e per ogni step temporale (in questo caso pari a mezz'ora). Nelle immagini a seguire sono pertanto rappresentate le mappe di concentrazione del tracciante (e di percentuale di ricambio) ogni 10 giorni, fino alla fine del mese preso a riferimento, per lo strato superficiale e per quello di fondo.

La legenda aiuta a comprendere che concentrazioni alte di tracciante corrispondono a condizioni di scarso ricambio idrico e, viceversa, concentrazioni basse di tracciante indicano un buon ricambio idrico.

L'imboccatura portuale rappresenta l'interfaccia di scambio tra il bacino ed il mare aperto: tanto più ci si allontana dall'imboccatura, quanto più lento è il ricambio idrico. Dopo 10 giorni, in corrispondenza dell'imboccatura portuale si ha un ricambio di circa il 40 e 45% (rispettivamente a Luglio e a Marzo) che diminuisce gradualmente spostandosi verso levante fino a raggiungere in corrispondenza dell'estremità ovest della Marina un ricambio del 10 e 15% (rispettivamente a Luglio e a Marzo). Dopo 30 giorni, il ricambio in corrispondenza dell'imboccatura è di circa il 45% nel mese di Luglio e 60% nel mese di Marzo; nella zona centrale del bacino questa percentuale si riduce a circa il 35% a Luglio ed il 50% a Marzo, mentre immediatamente a ponente della Marina il ricambio è di circa il 20% a Luglio e 45% a Marzo.

Le zone a più basso idrodinamismo, ossia dove il ricambio idrico avviene più lentamente, sono la parte nord della Marina e l'area di Fincantieri, ossia le zone più lontane dall'imboccatura. In queste aree, durante il mese di Luglio, dopo 10 giorni solo il 5% del volume d'acqua è stato ricambiato e alla fine del mese tale percentuale sale al 20%. Durante il mese di Marzo, dopo 10 giorni il ricambio è di circa il 10% ed aumenta al 40% dopo 30 giorni.

Nell'area di Porto Petroli dopo 10 giorni nel mese di Luglio il ricambio è variabile tra il 10% (nelle zone più a ridosso della banchina) ed il 20%, mentre dopo 1 mese si verifica un ricambio pari al



25-35%. Durante il mese di Marzo si verifica una minore differenza tra le parti a ridosso della banchina e quelle più esterne: dopo 10 giorni il ricambio è pari al 20-25% ed aumenta al 50-55% dopo 30 giorni.

I risultati mostrano inoltre che, nonostante una diversa idrodinamica lungo la colonna d'acqua, le variazioni in termini di ricambio idrico nello strato superficiale e al fondo sono assai modeste.

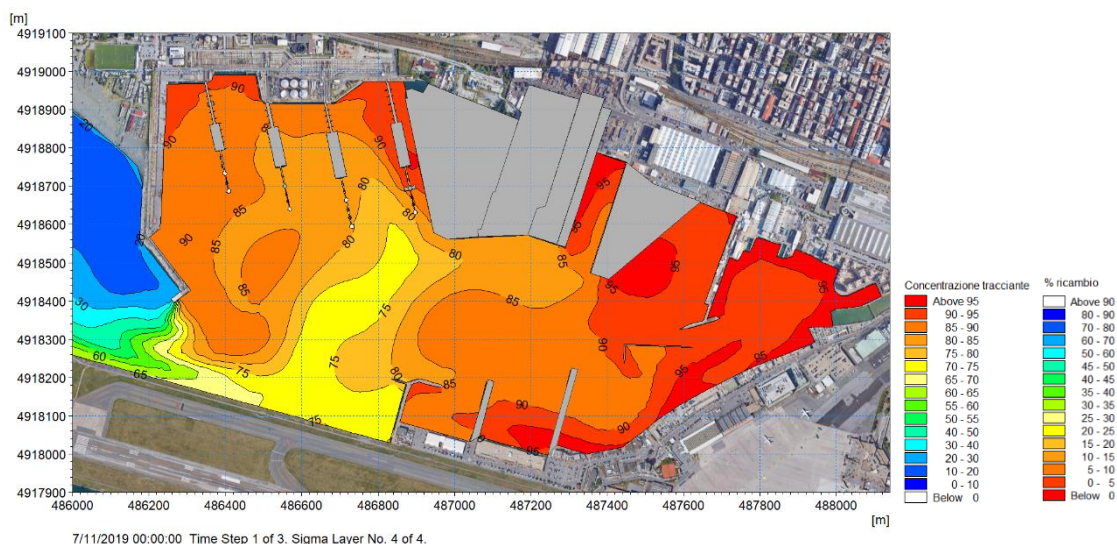


Figura 6-3 Concentrazione di traccianti (e percentuale di volume ricambiato) in superficie dopo 10 giorni durante il mese di Luglio 2019

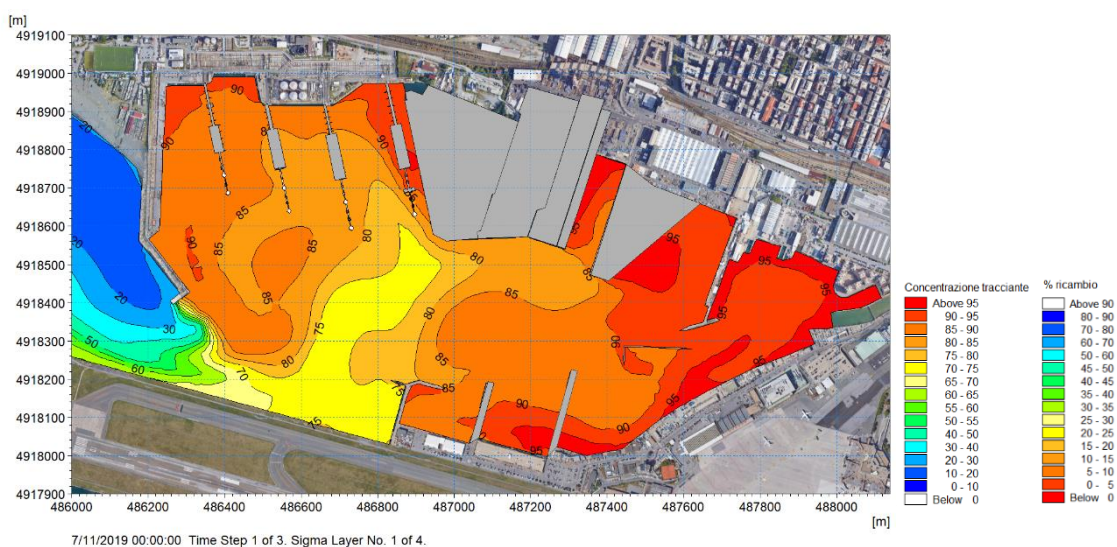


Figura 6-4 Concentrazione di traccianti (e percentuale di volume ricambiato) al fondo dopo 10 giorni durante il mese di Luglio 2019

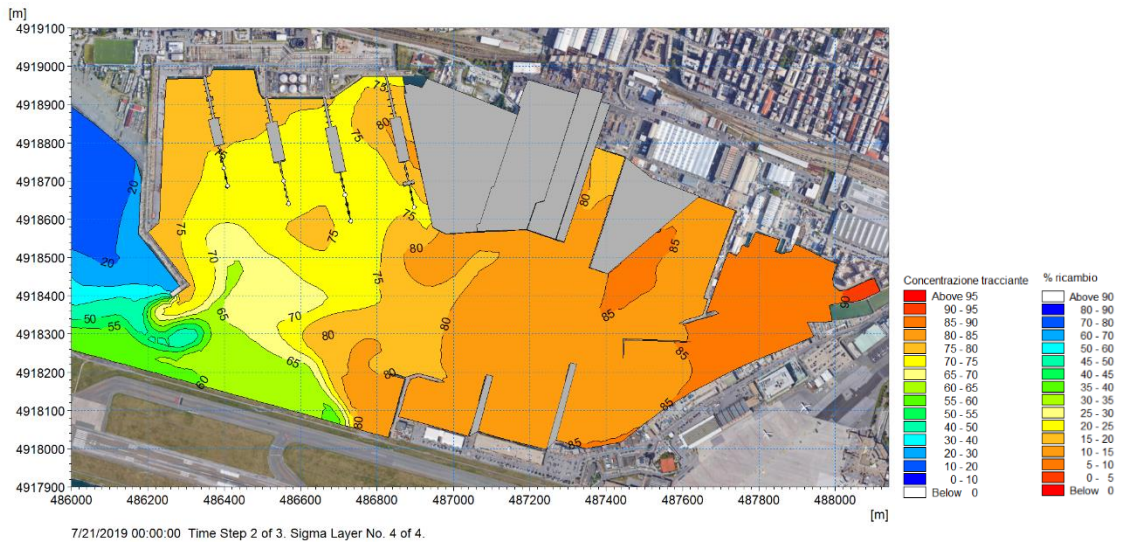


Figura 6-5 Concentrazione di traccianti (e percentuale di volume ricambiato) in superficie dopo 20 giorni durante il mese di Luglio 2019

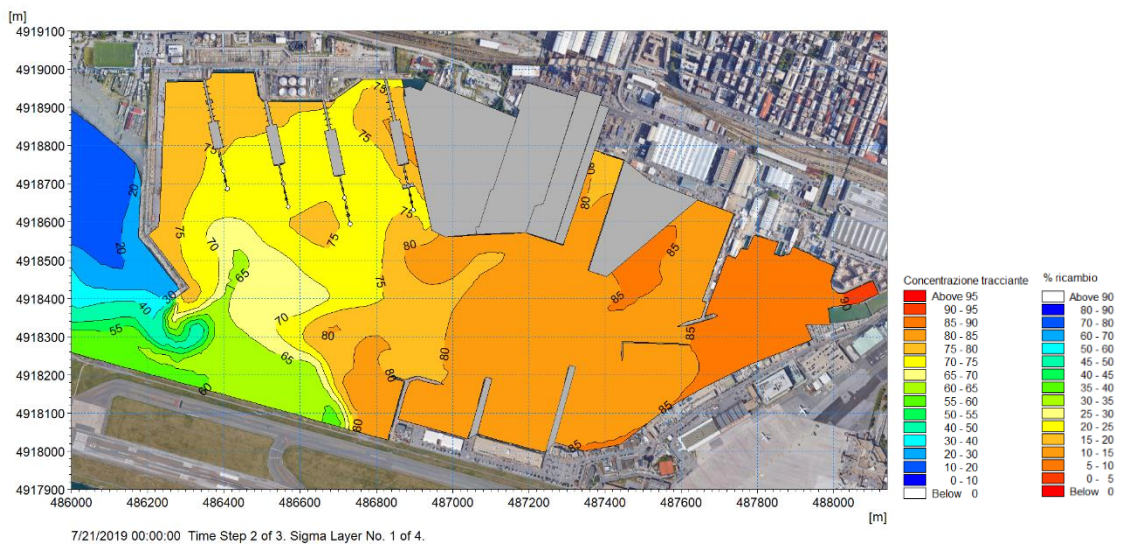


Figura 6-6 Concentrazione di traccianti (e percentuale di volume ricambiato) al fondo dopo 20 giorni durante il mese di Luglio 2019

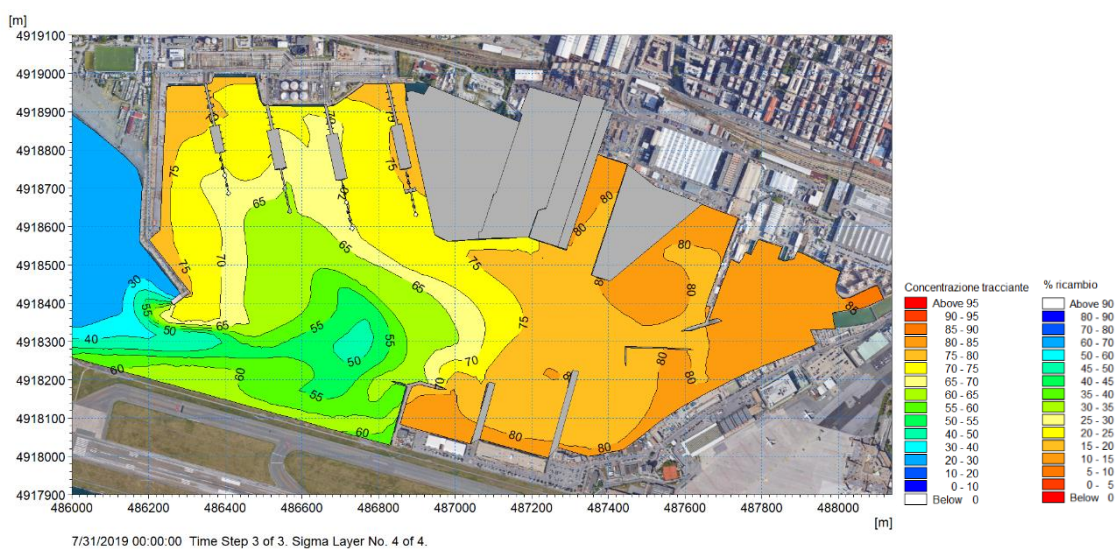


Figura 6-7 Concentrazione di tracciante (e percentuale di volume ricambiato) in superficie dopo 30 giorni durante il mese di Luglio 2019

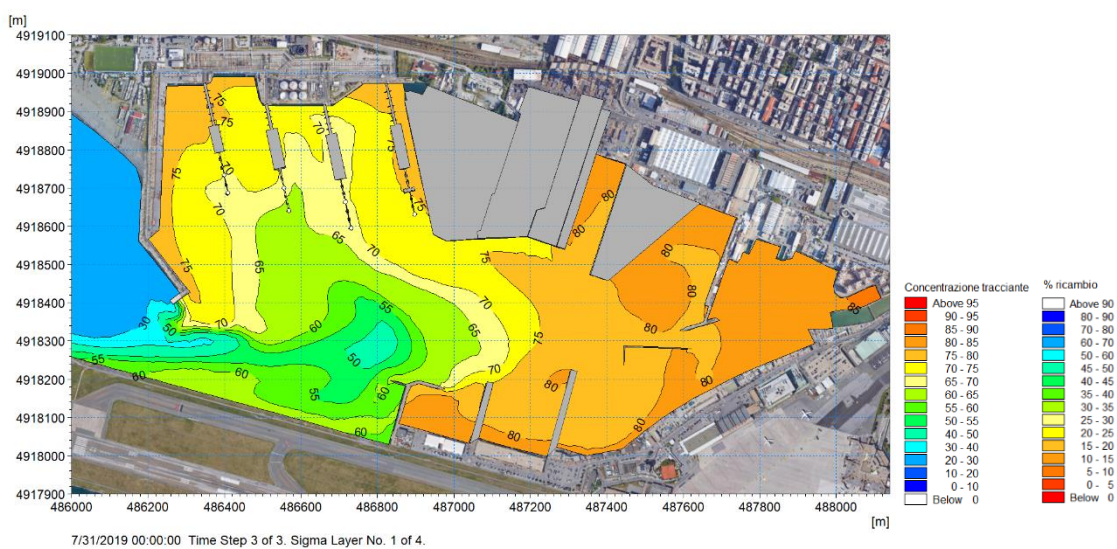


Figura 6-8 Concentrazione di tracciante (e percentuale di volume ricambiato) al fondo dopo 30 giorni durante il mese di Luglio 2019

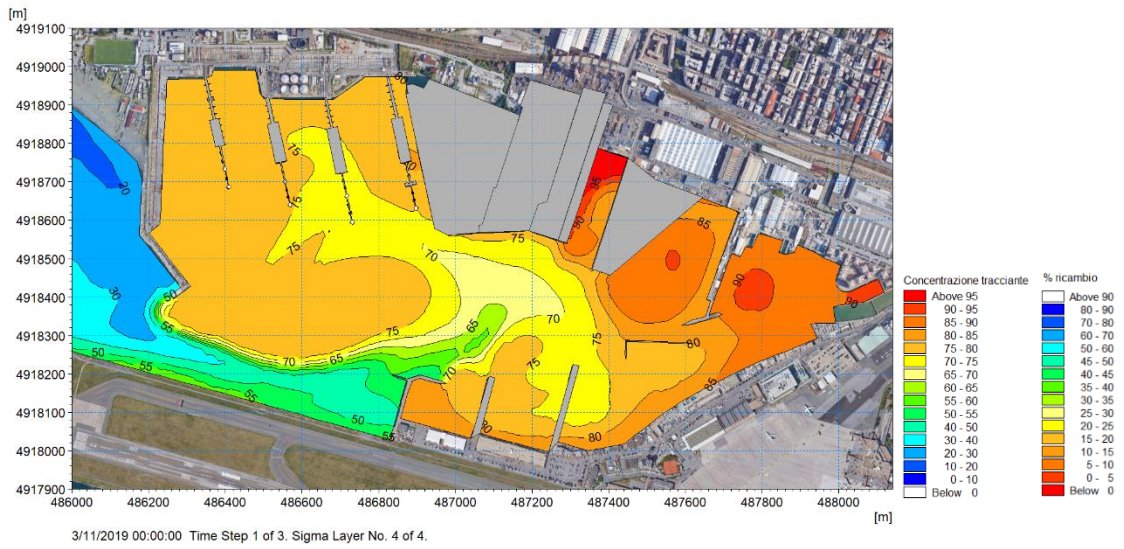


Figura 6-9 Concentrazione di tracciante (e percentuale di volume ricambiato) in superficie dopo 10 giorni durante il mese di Marzo 2019

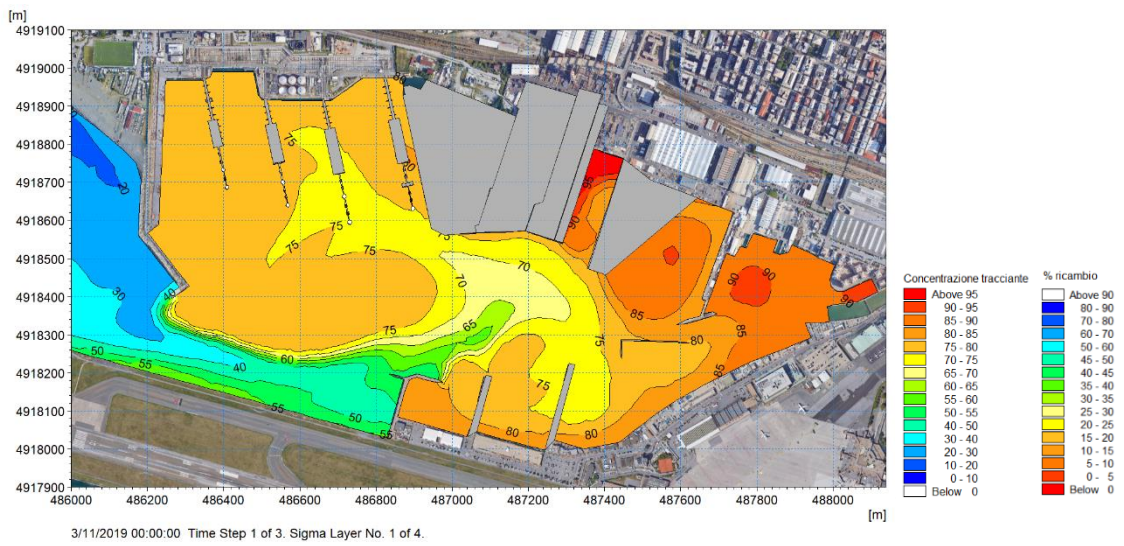


Figura 6-10 Concentrazione di tracciante (e percentuale di volume ricambiato) al fondo dopo 10 giorni durante il mese di Marzo 2019



Figura 6-11 Concentrazione di tracciante (e percentuale di volume ricambiato) in superficie dopo 20 giorni durante il mese di Marzo 2019

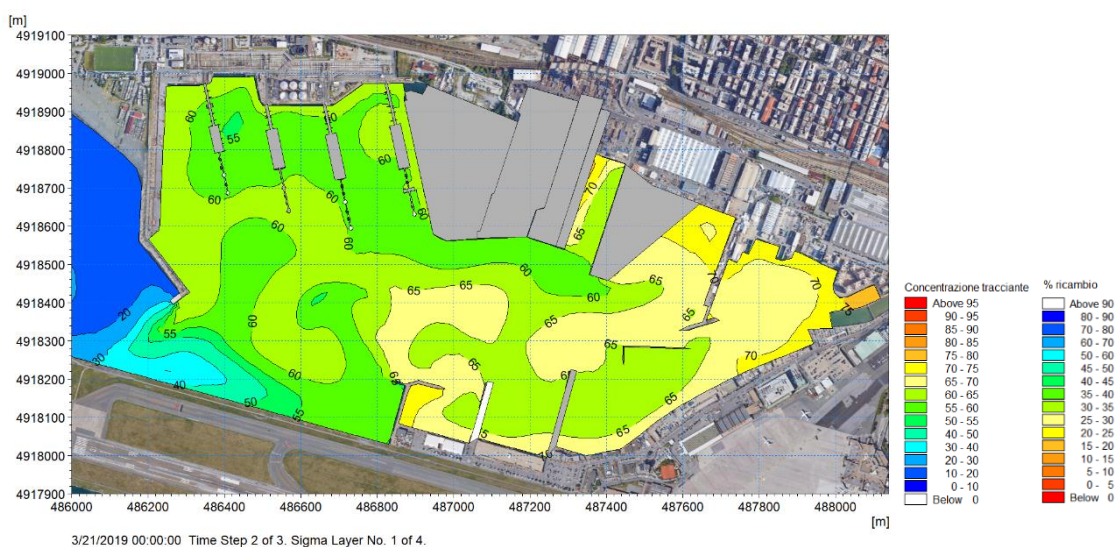


Figura 6-12 Concentrazione di tracciante (e percentuale di volume ricambiato) al fondo dopo 20 giorni durante il mese di Marzo 2019



Figura 6-13 Concentrazione di traccianti (e percentuale di volume ricambiato) in superficie dopo 30 giorni durante il mese di Marzo 2019



Figura 6-14 Concentrazione di traccianti (e percentuale di volume ricambiato) al fondo dopo 30 giorni durante il mese di Marzo 2019

## 7 Conclusioni

Il presente documento illustra le attività modellistiche predisposte a supporto della redazione del *“Progetto di Fattibilità Tecnico Economica per l’adeguamento alle norme in materia di sicurezza dei luoghi di lavoro, nonché la razionalizzazione dell’accessibilità dell’area portuale industriale di Genova Sestri Ponente”*. L’obiettivo dello studio è la simulazione delle condizioni idrodinamiche all’interno del bacino di Sestri Ponente.

Le attività modellistiche hanno previsto la simulazione della circolazione indotta dalla marea, dal vento (al variare dell’intensità e della direzione) e dalla piena dei corsi d’acqua defluenti nel bacino (rio Marotto, rio Molinassi, rio Cantarena e torrente Chiaravagna). Inoltre, è stata predisposta un’ulteriore simulazione volta alla quantificazione dei tempi di ricambio delle acque interne al bacino di Sestri Ponente sulla base della circolazione interna per un periodo rappresentativo. Le simulazioni sono state predisposte in riferimento a due finestre temporali: una potenzialmente più critica ai fini del ricambio idrico (condizione estiva caratterizzata da venti mediamente deboli) e una più frequente per il sito.

Tutte le simulazioni sono state predisposte per la configurazione di progetto del bacino, messa a disposizione da F&M Ingegneria.

Lo studio è stato affrontato utilizzando i codici di simulazione della famiglia MIKE che, sviluppati da DHI, rappresentano senza dubbio i modelli numerici più completi ed affidabili oggi disponibili a livello internazionale nel campo delle risorse idriche.

I risultati delle simulazioni evidenziano che il contributo della marea astronomica alla circolazione interna del bacino è pressoché trascurabile, generando correnti con velocità mai superiori a 1 cm/s.

I risultati dell’idrodinamica generata dal vento mostrano che la corrente nello strato superficiale è fortemente dipendente dalla specifica condizione anemometrica di volta in volta considerata: la direzione principale di propagazione è concorde con quella del vento e le velocità sono proporzionali all’intensità del vento. Allontanandosi dalla superficie e procedendo verso il fondo le velocità di corrente diminuiscono. In generale, al fondo la corrente presenta un verso di propagazione opposto rispetto alla superficie.

Indipendentemente dal settore di provenienza considerato, le condizioni di vento di intensità pari al 50esimo percentile determinano un andamento della corrente del tutto analogo in termini di direzioni a quello determinato dalle condizioni di vento di intensità pari al 98esimo percentile, ma con velocità di corrente più ridotte. Mediamente le velocità sono dell’ordine di 3-5 cm/s per venti al 98esimo percentile e 2-3 cm/s per i venti relativi al 50esimo percentile. In generale, le velocità più elevate, sempre comunque inferiori a 10 cm/s, si verificano laddove la corrente lambisce le strutture portuali.

Per quanto riguarda l’idrodinamica generata dai corsi d’acqua, il flusso più intenso è generato dal torrente Chiaravagna, caratterizzato dalla portata maggiore. In riferimento ad una portata con periodo di ritorno di 10 anni, il campo idrodinamico è influenzato dalla presenza della foce fluviale anche ad un chilometro di distanza, dove si verificano velocità dell’ordine di 10 cm/s. Gli altri rii generano correnti piuttosto localizzate: il flusso principale presenta velocità di circa 10-20 cm/s in superficie e intensità dimezzata al fondo, mentre ad una distanza di 500 m dalla foce le velocità sono inferiori a 1 cm/s.

L’analisi del ricambio idrico ha messo in evidenza che quanto più ci si allontana dall’imboccatura portuale, che rappresenta l’interfaccia di scambio tra il bacino ed il mare aperto, tanto più lento è il ricambio del volume d’acqua. Le zone a più basso idrodinamismo, dove il ricambio idrico avviene più lentamente, sono la parte più interna del bacino, in corrispondenza delle associazioni sportive, e l’area di Fincantieri, ossia le zone più lontane dall’imboccatura. In queste aree si osserva un ricambio del solo 20% del volume d’acqua in 30 giorni durante un mese a basso idrodinamismo;

tale percentuale aumenta al 40% durante un mese caratterizzato da condizioni di vento medie per il sito. Nell'area di Porto Petroli in 30 giorni si verifica un ricambio pari al 25-35% durante il mese a basso idrodinamismo e del 50-55% durante un mese caratterizzato da intensità del vento medie.

## 8 Riferimenti

- [1] DHI, "MIKE 21/3 Flow Model HD FM, Hydrodynamics Flexible Mesh, Scientific Documentation," MIKE by DHI, Hørsholm, 2021.
- [2] DHI, "MIKE 21/3 AD FM - Advection Dispersion Flexible Mesh, Scientific Documentation," MIKE by DHI, Hørsholm, 2021.
- [3] NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration , "Map application - Hourly Observational Data Map," NCEI - National Centers for Environmental Information, [Online]. Available: <https://gis.ncdc.noaa.gov/maps/ncei/cdo/hourly>.
- [4] DTU Space, "Global Tide Model - Tidal prediction," 2021.
- [5] ISPRA - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, "<https://www.mareografico.it/>," Rete Mareografica Nazionale – RON. [Online].
- [6] Autorità di Bacino Regionale, "Ambiti 12 e 13," *Piani di bacino stralcio per l'assetto idrogeologico*, p. <http://www.pianidibacino.ambienteinliguria.it/GE/ambiti12e13/ambiti12e13.html>, Ultima variante approvata: DDG n. 2461 del 22/04/2020 entrata in vigore il 13/05/2020.
- [7] Autorità di Bacino Regionale, "Torrente Chiaravagna," *Piani di bacino stralcio per l'assetto idrogeologico*, p. <http://www.pianidibacino.ambienteinliguria.it/GE/chiaravagna/chiaravagna.html>, Ultima variante approvata: DdDG n.177 del 25/06/2018 in vigore dall'11/07/2018.
- [8] ITEC engineering S.r.l., "Interventi di adeguamento idraulico dei rivi Marotto e Monferrato a Genova Multedo," 2015.
- [9] STANTEC S.p.A., "Nuovo inalveamento del rio Molinassi da piazza Clavarino fino allo sfocio a mare," 2021.
- [10] ITEC Engineering S.r.l., STANTEC S.p.A., "Progettazione definitiva (per appalto integrato) e coordinamento della sicurezza in fase di progettazione delle opere di adeguamento idraulico del tratto urbanizzato del rio Cantarena a Genova – Sestri Ponente," *Relazione Idrologico - Idraulica*, Giugno 2021.
- [11] DHI, "MIKE C-MAP, Extraction of World Wide Bathymetry Data and Tidal Information, Scietific Documentation," MIKE by DHI, Hørsholm, 2021.
- [12] Jeppesen Marine, "CM-93, Global Electronic Chart Database Professional+," Jeppesen Marine, Norway, 2021.



ALLEGATI



ALLEGATO A  
MIKE 21/3 Hydrodynamics (HD)



ALLEGATO B  
MIKE 21/3 Advection-Dispersion (AD)



