

# Risospensione di Sedimenti Indotta dal Traffico Navale Casi Studio Italiani

Antonio Guarnieri (1), Andrea Pedroncini (1), Marco Vaccari (2), Caterina Vincenzi (2)

(1) DHI S.r.l.

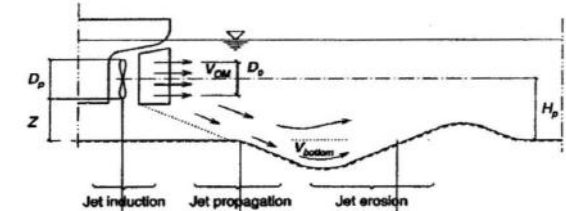
(2) Autorità di Sistema Portuale del Mar Ligure Occidentale



La cooperazione al cuore del Mediterraneo  
La coopération au cœur de la Méditerranée

## Le cause

- eliche di propulsione (e/o di manovra) delle navi
- eliche dei rimorchiatori



- depressione indotta dalla nave in movimento (*Bernoulli wake*)
- In zone a basso fondale: onde generate al passaggio della nave in movimento (*Kelvin ship waves*)

Le ricadute sono:

- **ambientali** (la concentrazione di sedimento sospeso in ambito portuale indotta dal passaggio di navi e rimorchiatori può talvolta essere paragonabile a quella associata a interventi di dragaggio);
- **gestionali**: ai fini della previsione / ottimizzazione dei livellamenti e/o dragaggi manutentivi all'interno del bacino.

# Il caso studio del Porto Passeggeri di Genova



Google Earth

Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO

# Il caso studio del Porto Passeggeri di Genova

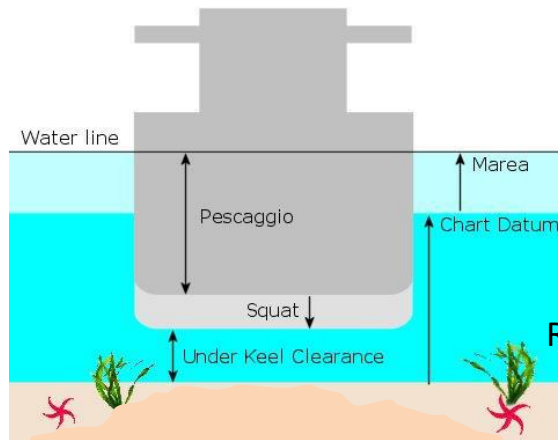


- Accosti traghetti
- Accosti crociere



# Ricadute gestionali

- I processi di erosione e deposizione possono essere particolarmente rapidi ed intensi e causare problemi specifici di
  - **sicurezza** per i passeggeri e per la navigazione in genere;
  - **gestione** del porto e degli accosti per il ripristino delle adeguate condizioni operative e di sicurezza;



Dragaggi  
manutentivi /  
Livellamenti



Riduzione eccessiva  
del fondale





**LA MODELLISTICA NUMERICA PUO' VENIRE INCONTRO ALLE ESIGENZE DELLE ADSP**  
**PONENDOSI COME IMPORTANTE STRUMENTO DI PIANIFICAZIONE DEGLI INTERVENTI DI**  
**LIVELLAMENTO E DRAGAGGIO FINALIZZATI AL MANTENIMENTO OPERATIVO DEI FONDALI**

# Il caso studio del Porto Passeggeri di Genova

- Anno di studio 2017: 1'917 accosti
  - Circa 15% crociere
  - Circa 85 % traghetti

Attracco	Numero accosti	% accosti	Lunghezza Media Nave	Larghezza Media Nave	Pescaggio Medio Nave
MILLE12	122	6.4%	318.41	37.86	8.33
MILLETRE	47	2.5%	276.20	30.07	7.45
DL	34	1.8%	290.86	32.02	7.82
T11	97	5.1%	213.23	31.67	6.94
T10	202	10.6%	181.88	26.44	6.46
T9	8	0.4%	152.96	24.81	5.91
T7	308	16.1%	214.27	26.45	6.85
T6	291	15.2%	204.93	26.35	6.62
T5	351	18.3%	203.93	29.57	6.95
T3	87	4.5%	155.16	25.60	6.17
T2	202	10.6%	185.66	27.85	6.68
T1	164	8.6%	204.00	28.33	6.93
<b>TOTALE</b>	<b>1913</b>	<b>100.0%</b>	---	---	---

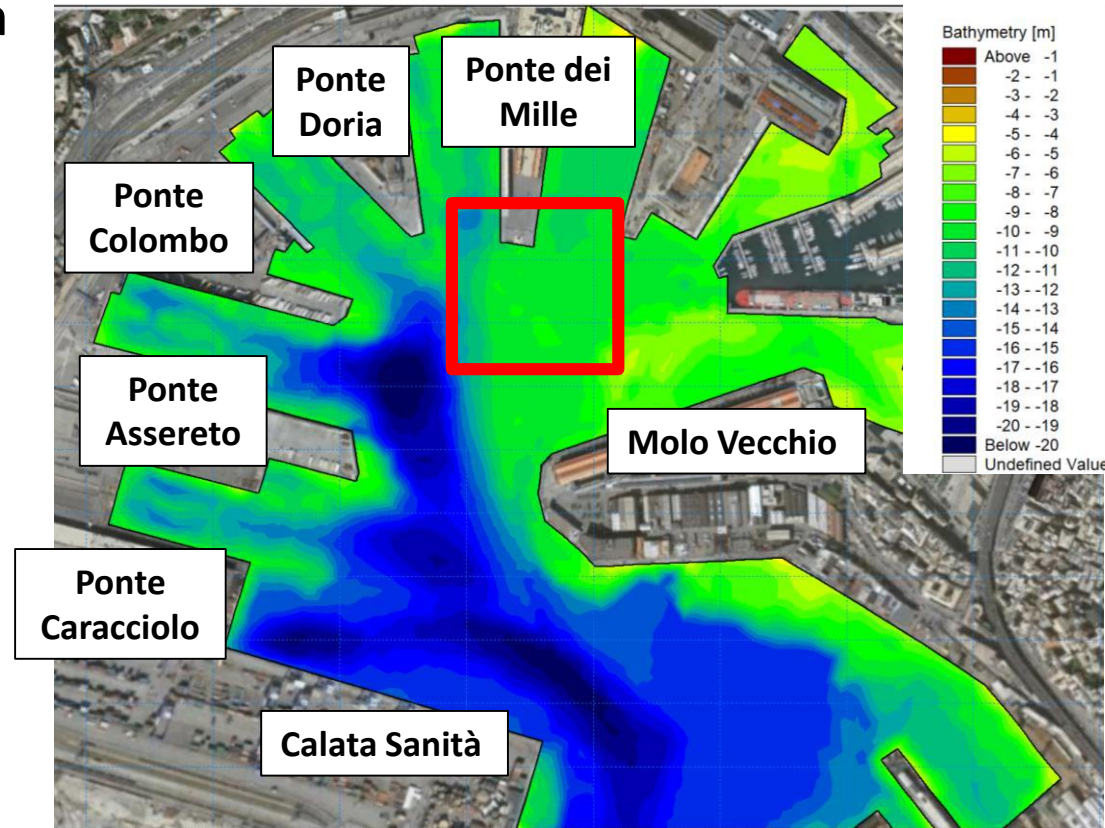


 Accosti traghetti  
 Accosti crociere

Dati forniti da Stazioni Marittime SpA

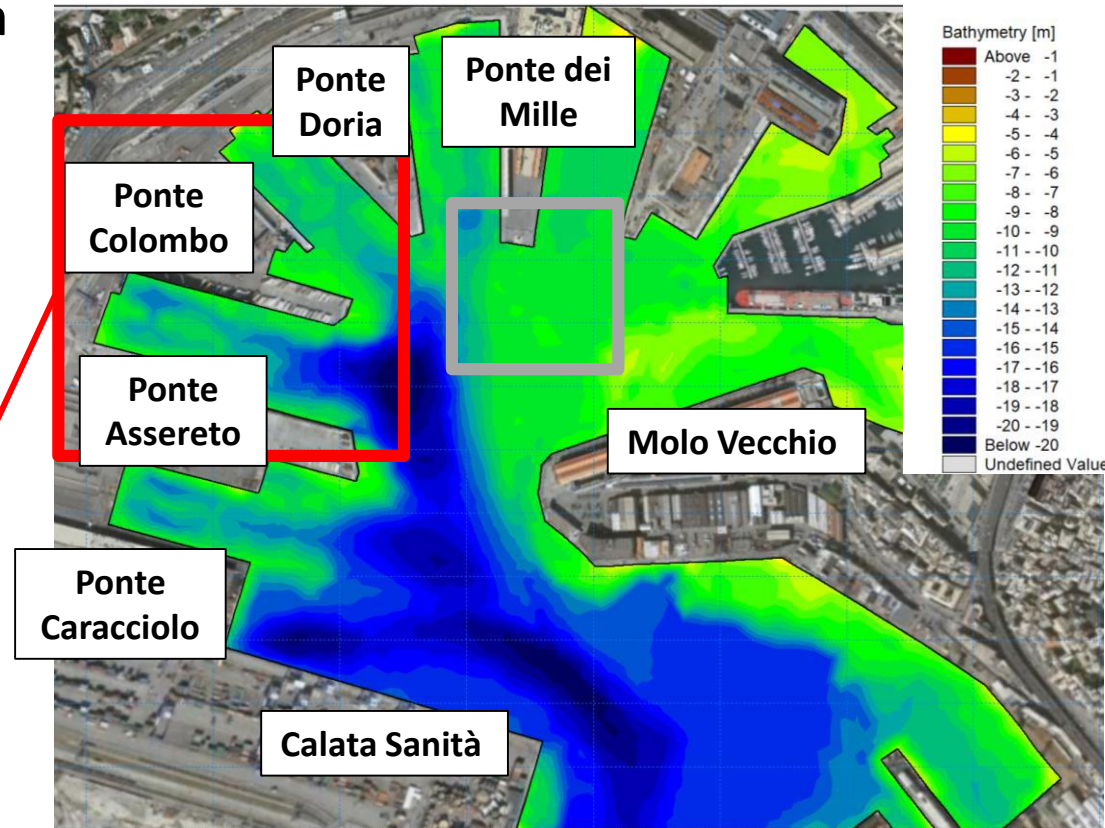
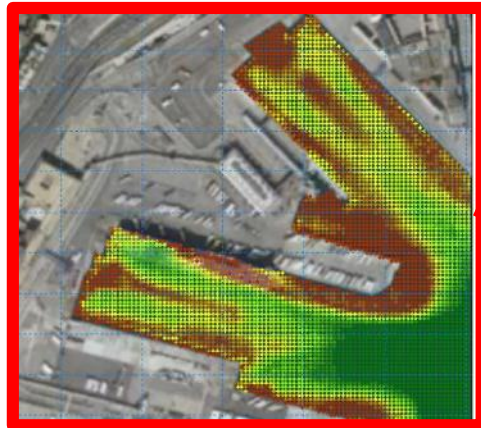
# Il caso studio del Porto Passeggeri di Genova

- Significativa deposizione in alcune aree:
  - testata Ponte dei Mille



# Il caso studio del Porto Passeggeri di Genova

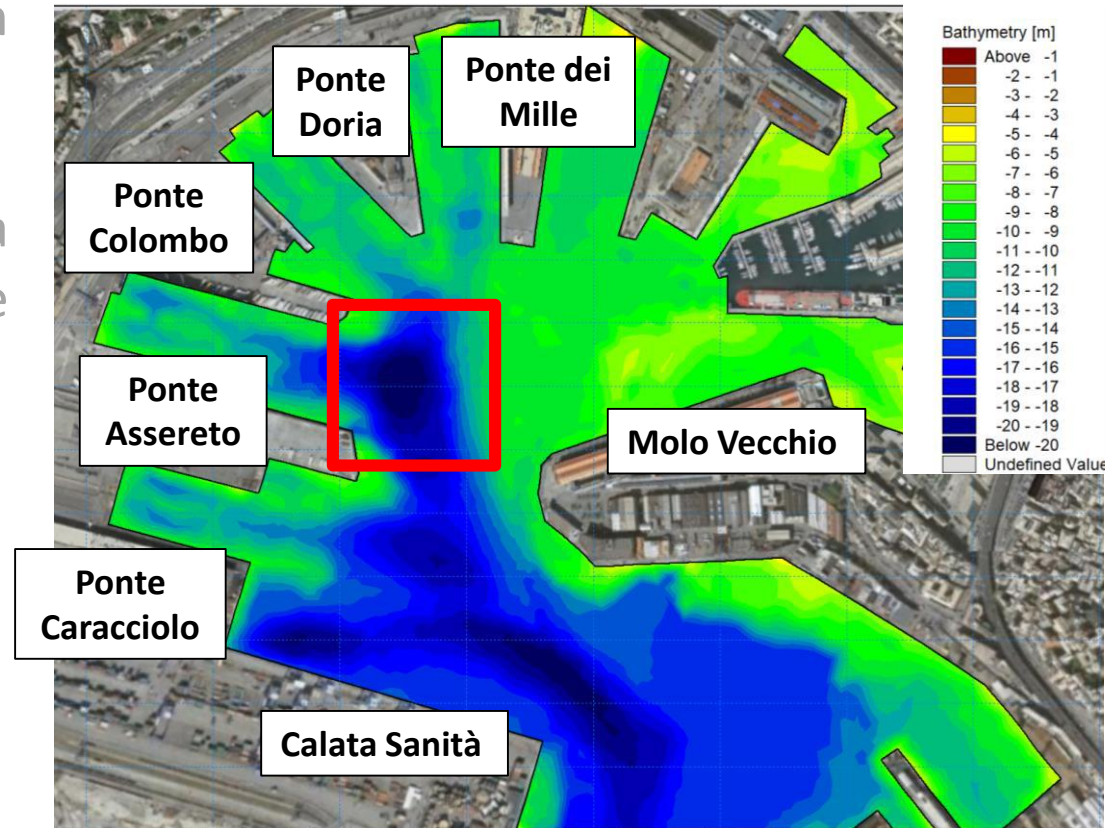
- Significativa deposizione in alcune aree:
  - testata Ponte dei Mille
  - darsene (in particolare tra Ponte Assereto e Ponte Colombo)



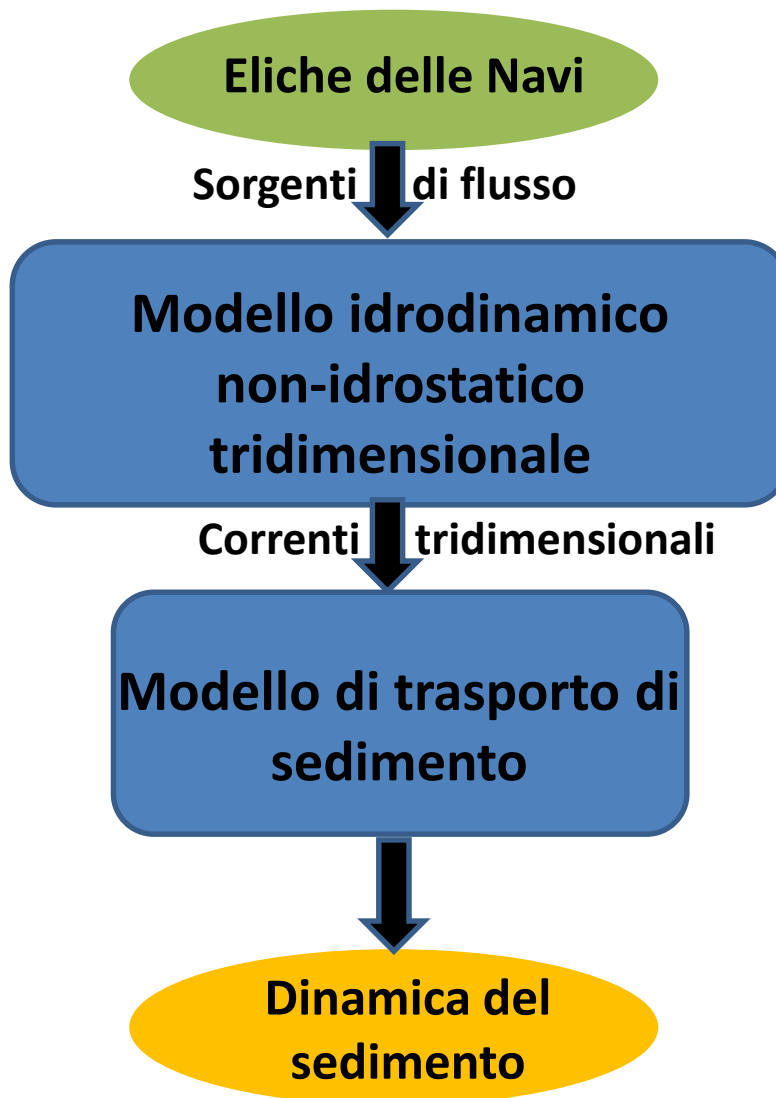


# Il caso studio del Porto Passeggeri di Genova

- Significativa deposizione in alcune aree:
  - testata Ponte dei Mille
  - darsene (in particolare tra Ponte Assereto e Ponte Colombo)
  
- Necessità di livellamenti:
  - materiale redistribuito localmente
  - materiale conferito nella fossa naturale



# Modellistica integrata



# Analisi del Traffico Navale (2017)

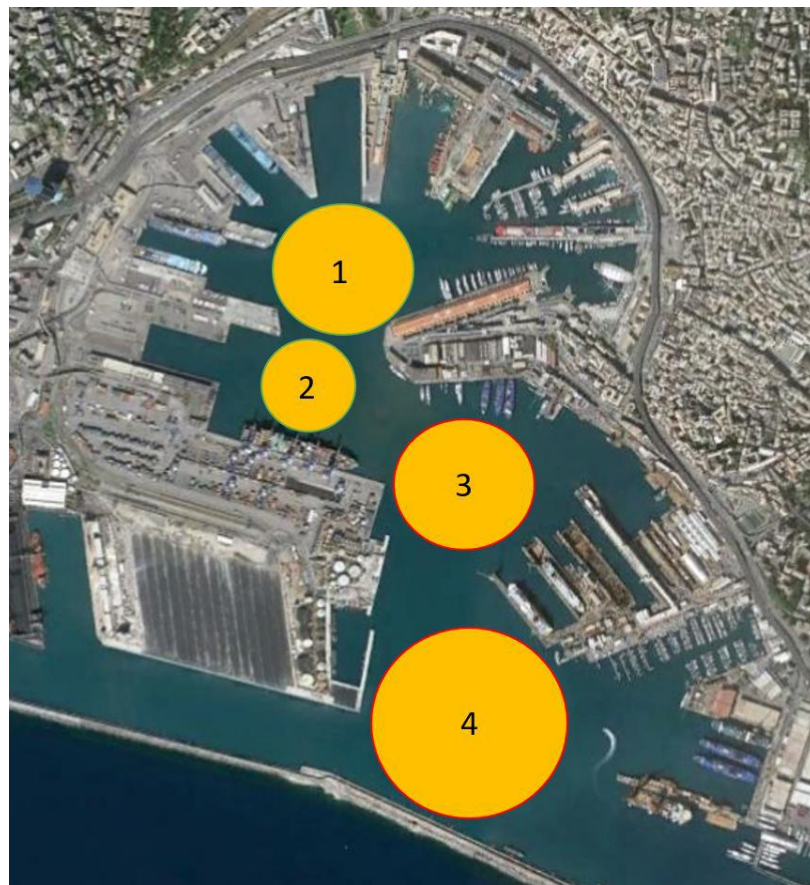
- I dati del traffico navale sono stati analizzati per ogni accosto (numero totale di accosti)
- Per ogni banchina è stata individuata una nave rappresentativa in termini di
  - Dimensioni (larghezza e lunghezza)
  - Pescaggio
- Attraverso formule empiriche si sono stimate le dimensioni delle eliche delle navi rappresentative

Attracco	Numero accosti	% accosti	Lunghezza Media Nave	Larghezza Media Nave	Pescaggio Medio Nave	Diametro Medio Elica
MILLE12	122	6.4%	318.41	37.86	8.33	5.80
MILLETRE	47	2.5%	276.20	30.07	7.45	5.20
DL	34	1.8%	290.86	32.02	7.82	5.40
T11	97	5.1%	213.23	31.67	6.94	5.20
T10	202	10.6%	181.88	26.44	6.46	4.70
T9	8	0.4%	152.96	24.81	5.91	4.40
T7	308	16.1%	214.27	26.45	6.85	4.90
T6	291	15.2%	204.93	26.35	6.62	4.80
T5	351	18.3%	203.93	29.57	6.95	5.00
T3	87	4.5%	155.16	25.60	6.17	4.50
T2	202	10.6%	185.66	27.85	6.68	4.80
T1	164	8.6%	204.00	28.33	6.93	5.00
<b>TOTALE</b>	<b>1913</b>	<b>100.0%</b>	---	---	---	---

Per la stima dei diametri delle eliche cfr. Technical University of Denmark, 2016

# Bacini di evoluzione

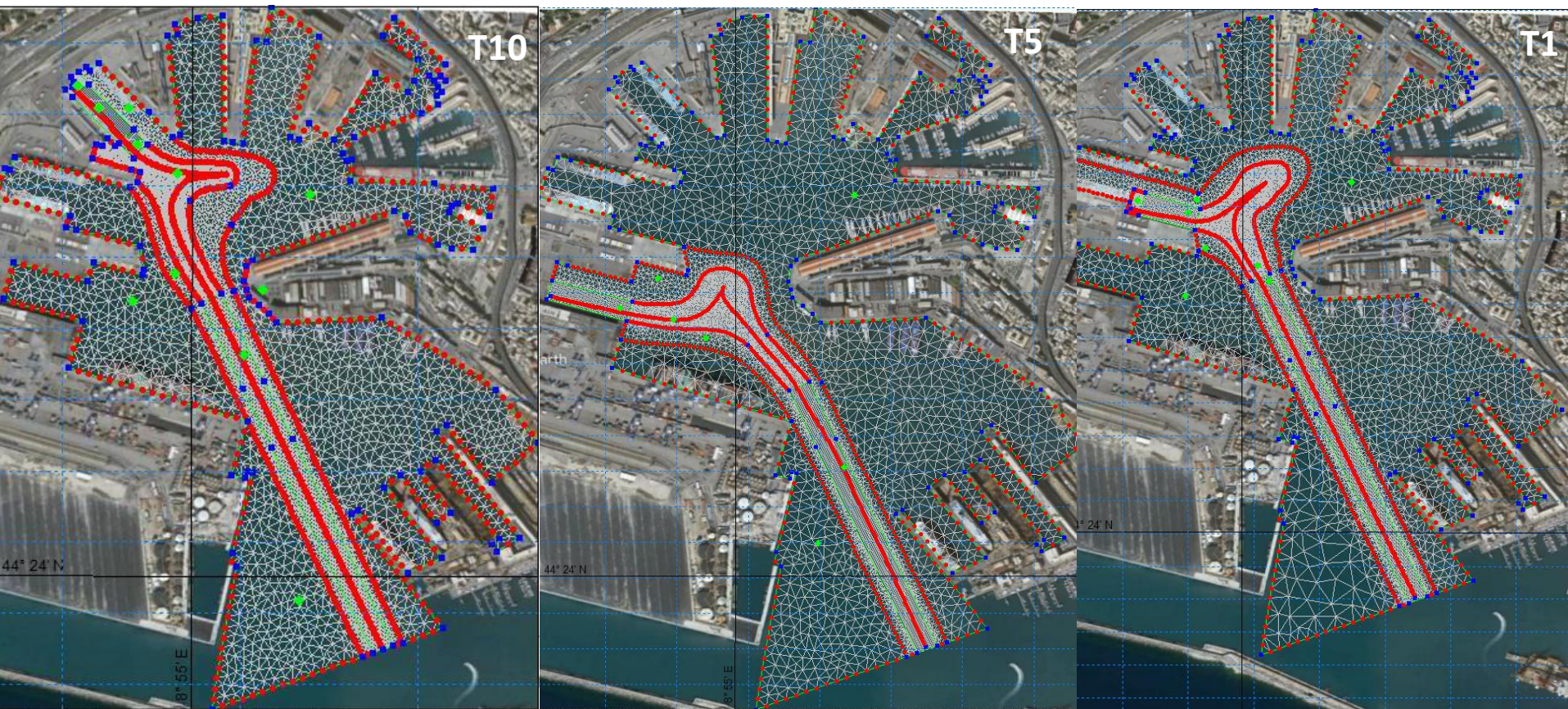
- Bacino 1: **traghetti** in approdo a banchine T3, T5, T6, T7, T9, T10, T11
- Bacino 2: **traghetti** in approdo alle banchine T1 e T2;
- Bacino 3: poco utilizzato, manovre di alcune **navi da crociera** di dimensioni non superiori a 280-300 metri (1003);
- Bacino 4: **navi da crociera** di maggiori dimensioni (Doria Levante e 1012)



# Modello Idrodinamico

## MIKE 3 FM non idrostatico

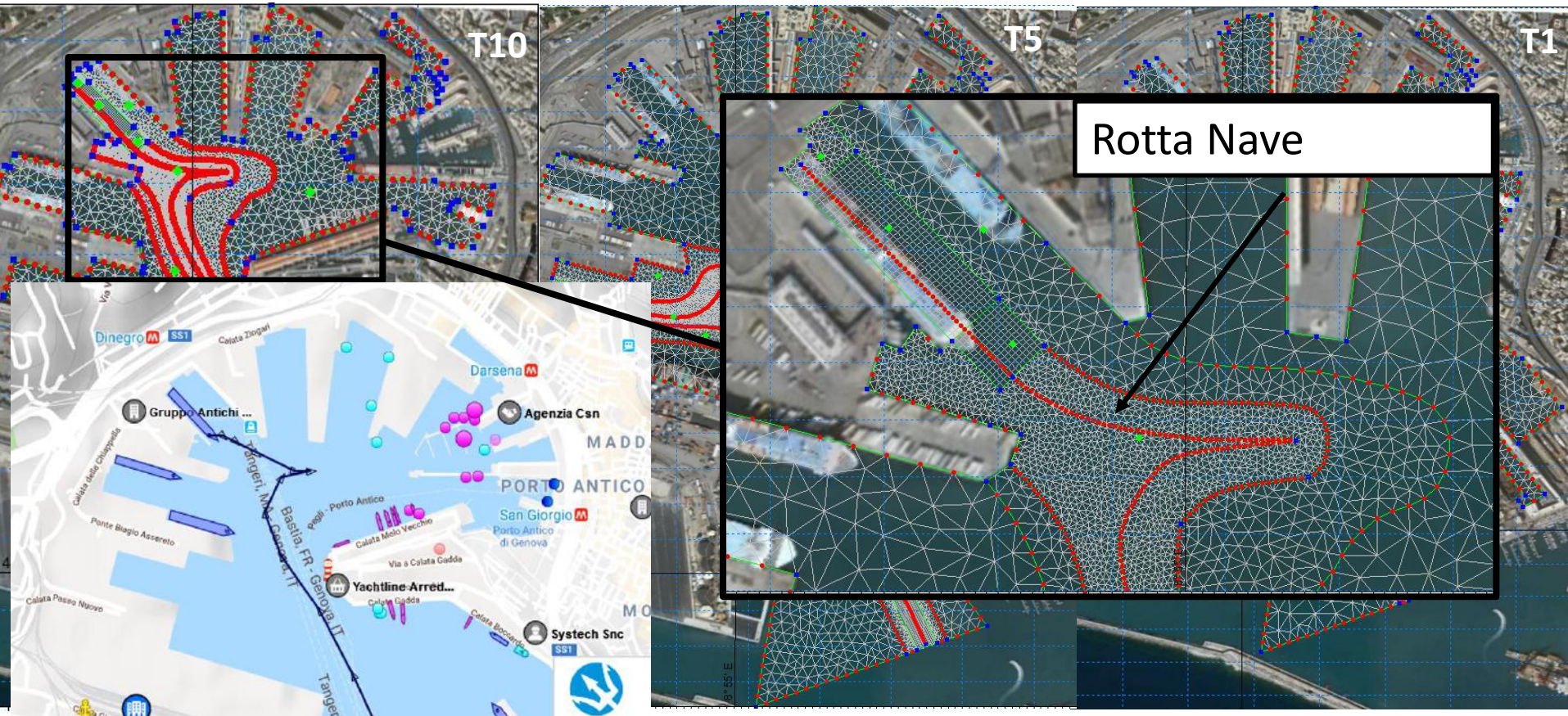
- Risoluzione orizzontale: **30-5 m**
- Risoluzione verticale: **1-2 m**  
(10  $\sigma$  layers)
- Forzanti: **eliche delle navi** (sorgenti mobili)
- **24 diverse griglie** di calcolo



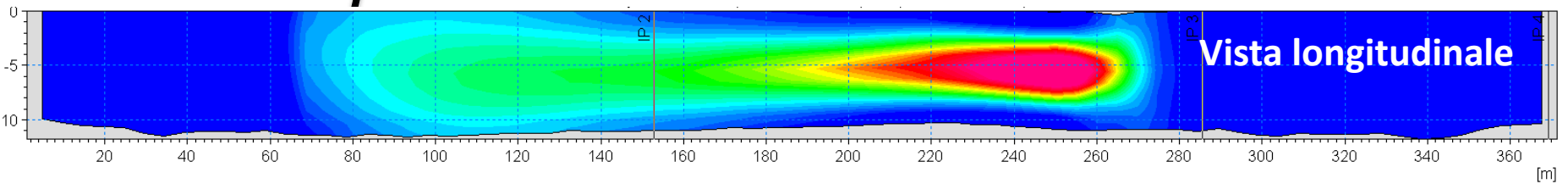
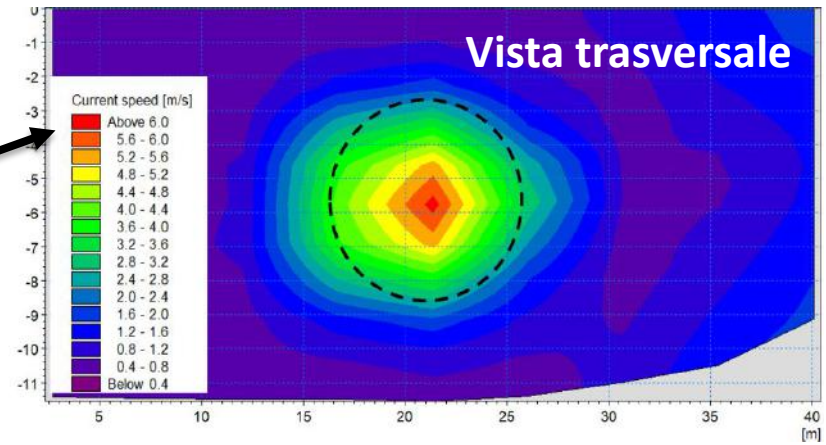
# Modello Idrodinamico

## MIKE 3 FM non idrostatico

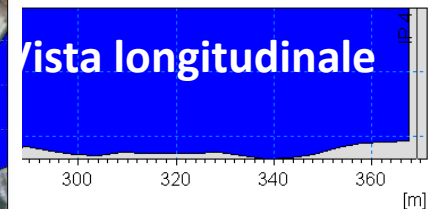
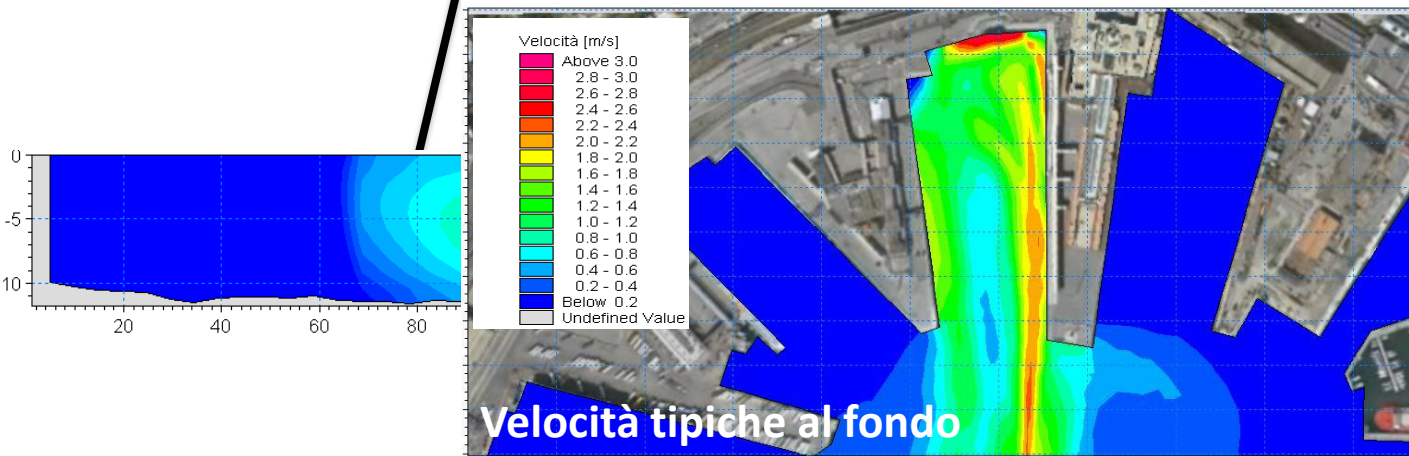
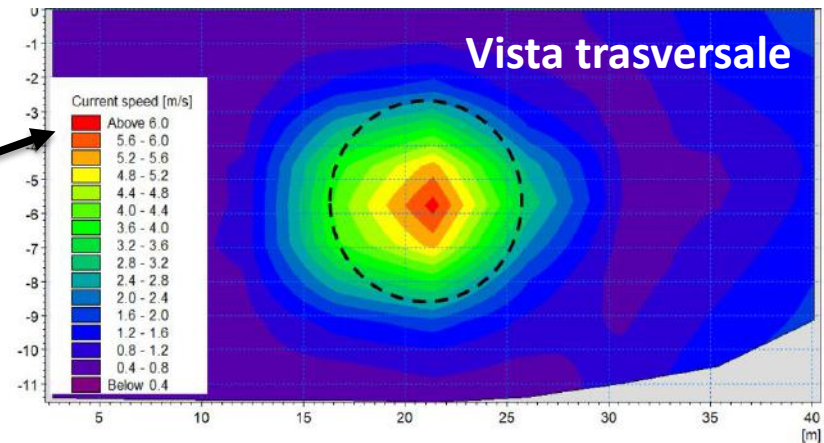
- Risoluzione orizzontale: **30-5 m**
- Risoluzione verticale: **1-2 m**  
(10  $\sigma$  layers)
- Forzanti: **eliche delle navi** (sorgenti mobili)
- **24 diverse griglie** di calcolo



# Esempio di risultati del modello idrodinamico



# Esempio di risultati del modello idrodinamico



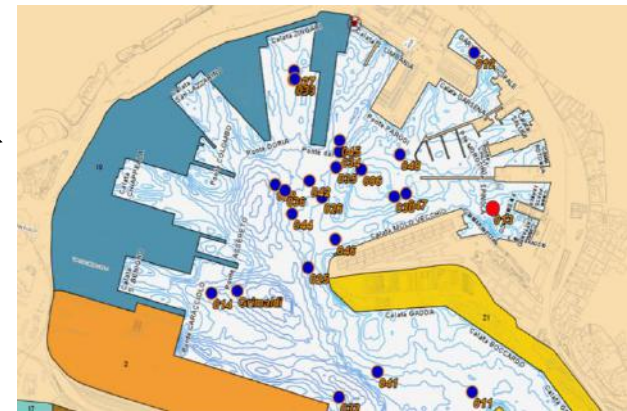
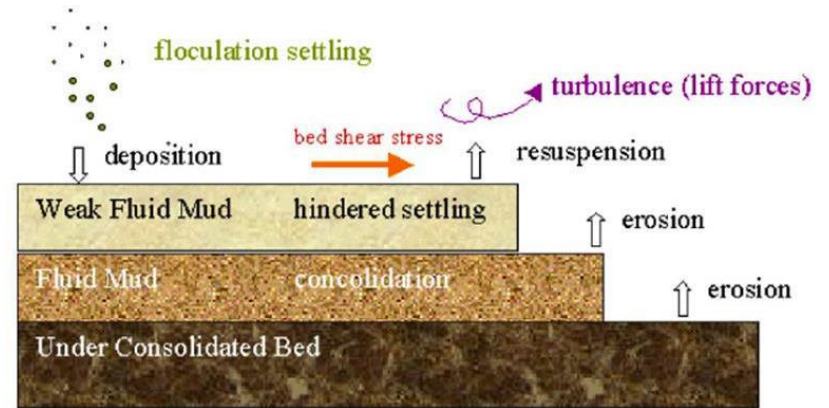


# Modello di Trasporto di Sedimento

- MIKE 3 MT FM
- Per ciascun accosto la griglia di calcolo è la medesima del modello idrodinamico
- Definizione di:
  - 3 granulometrie di sedimento:  
 $\Phi_{1,2,3} = 30, 50, 100 \mu m$
  - 3 strati di fondo con  $\tau_{critica}$  proporzionale alla profondità:  
 $\tau_{c1,2,3} = 0.15, 0.25, 0.50 N/m^2$
  - Velocità di sedimentazione calcolate tramite legge di Stokes:

$$W_s = \frac{2R^2(d_s - d_l)g}{9\eta}$$

$$ws_{1,2,3} = 0.70, 2.20, 8.80 \text{ mm/s}$$



MACISTE

<http://www.apge.macisteweb.com>

# Considerazioni sugli apporti di corsi d'acqua in porto

L'apporto solido dei corsi d'acqua in Porto è risultato **trascurabile** rispetto ai volumi di sedimento movimentati dal traffico navale.

Si è infatti stimato un accumulo distribuito nella prima fascia di influenza dei corsi d'acqua **dell'ordine dei mm/anno**.

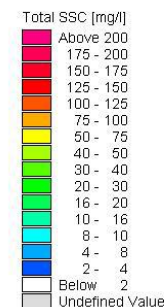
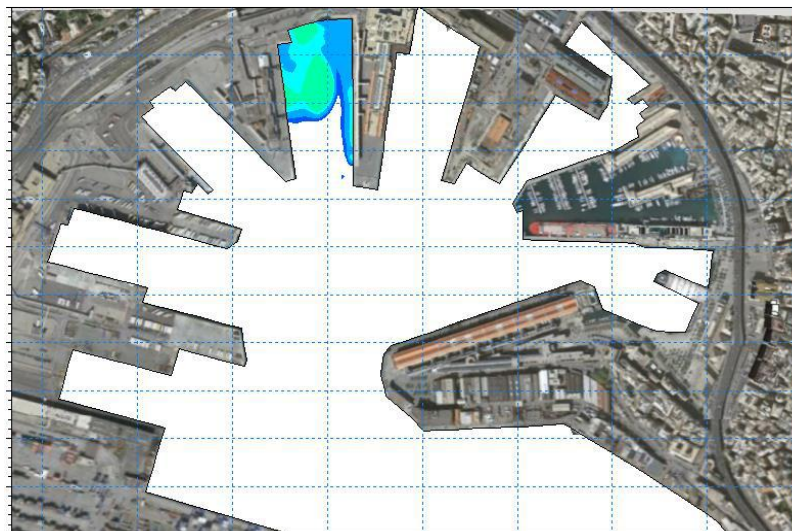


Stima della portata solida in base a metodi da letteratura (Ciccacci et al., 1998)

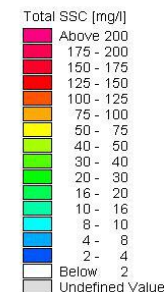
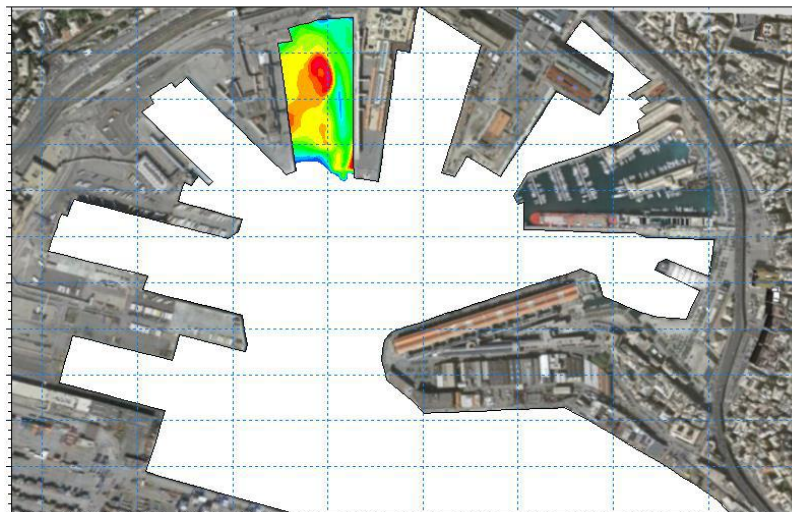
	Area [km <sup>2</sup> ]	L [km]	Ga	D	Da	log(Tu)	Tu [t/km <sup>2</sup> yr]	Tu [t/yr]	Tu [m <sup>3</sup> /yr]
San Lazzaro	1.33	4	-	3.01	-	2.43	270	359	200
San Teodoro	0.54	1.06	-	1.96	-	2.09	125	68	38
Lagaccio	2.36	6.1	6	2.58	0.26	2.32	210	496	275
Sant'Ugo	0.8	1.8	-	2.25	-	2.18	150	120	67
Carbonara	1.1	3.3	-	3	-	2.43	270	297	165
Sant'Anna	0.72	2.6	-	3.61	-	2.63	430	310	172

# Esempio di risultati del modello di sedimento

Partenza accosto 1012  
Asse elica (SSC in mg/l)

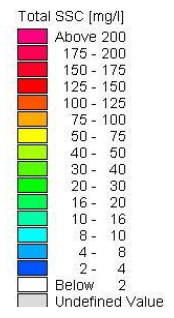
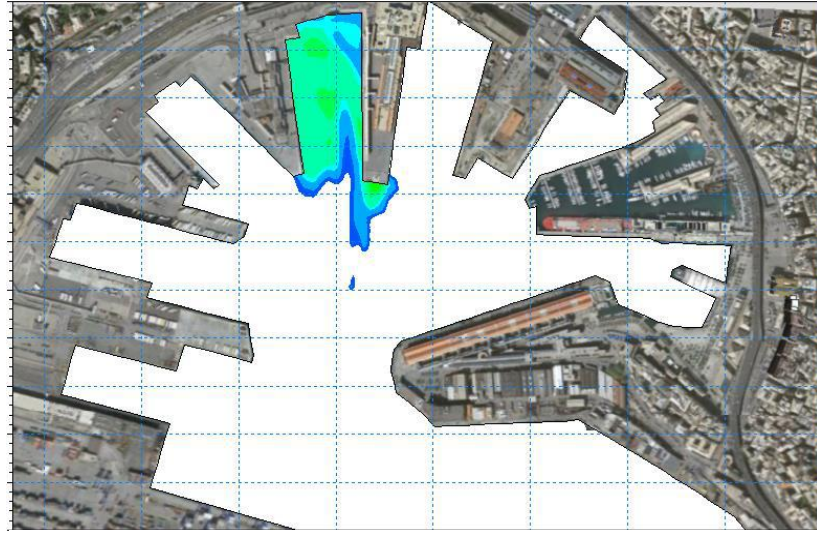


Partenza accosto 1012  
Fondo (SSC in mg/l)

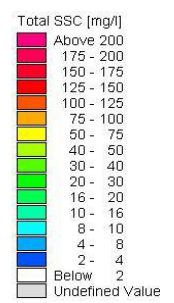
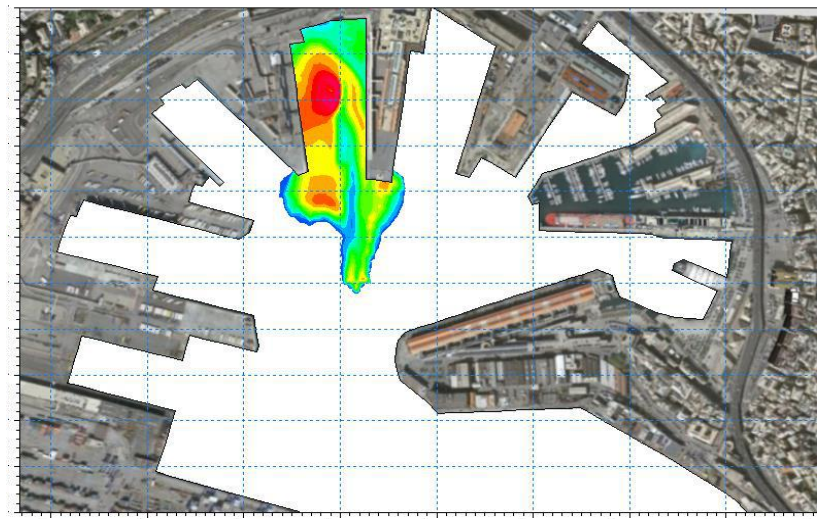


# Esempio di risultati del modello di sedimento

Partenza accosto 1012  
Asse elica (SSC in mg/l)

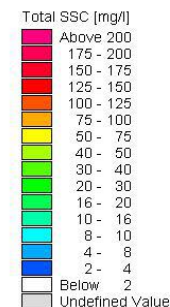
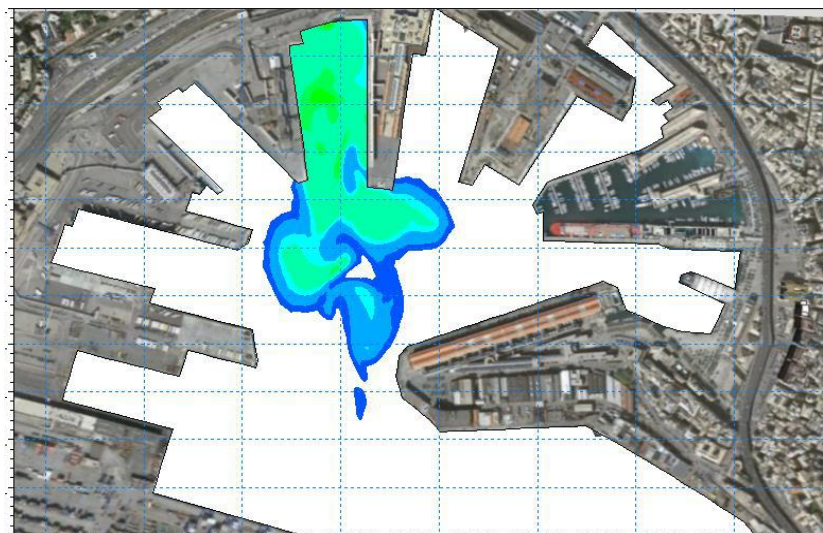


Partenza accosto 1012  
Fondo (SSC in mg/l)

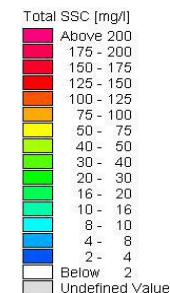
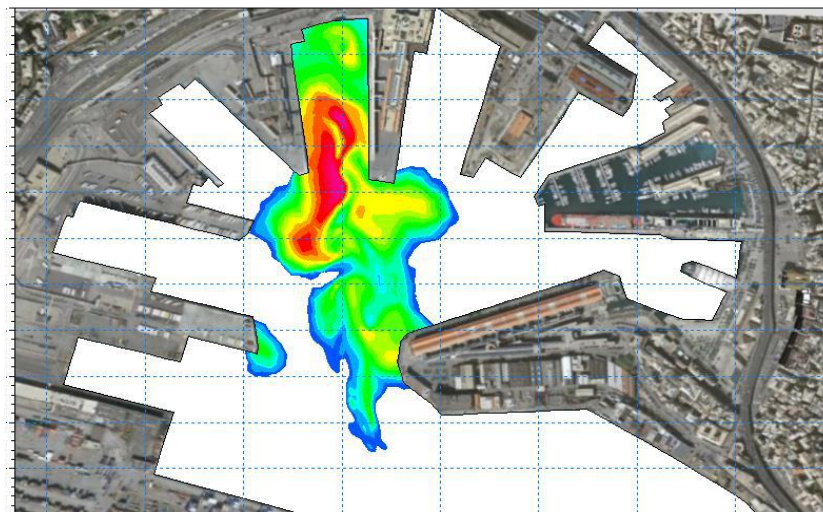


# Esempio di risultati del modello di sedimento

Partenza accosto 1012  
Asse elica (SSC in mg/l)

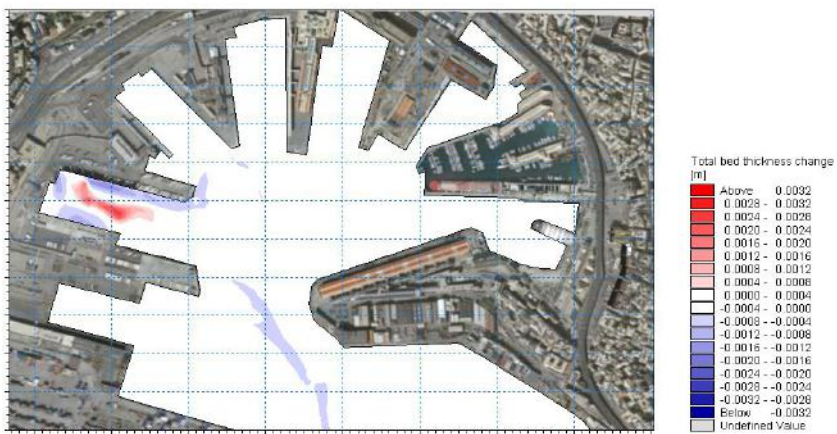


Partenza accosto 1012  
Fondo (SSC in mg/l)

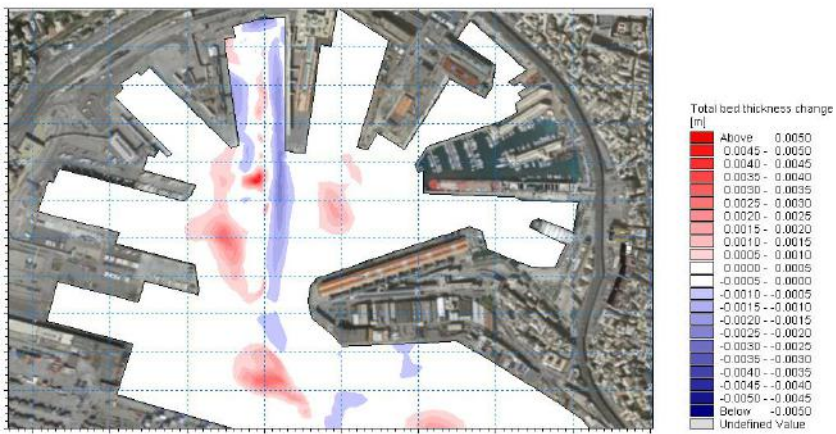


# Mappe di erosione-deposizione dei singoli passaggi nave

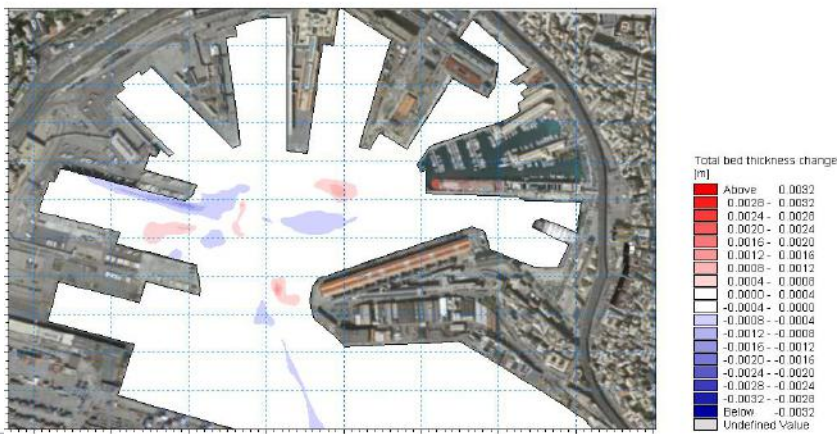
Uscita accosto T7



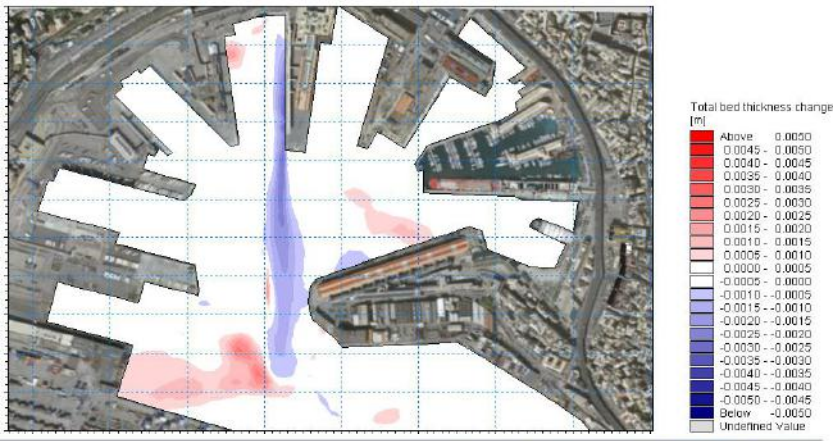
Uscita accosto 1012



Ingresso accosto T7

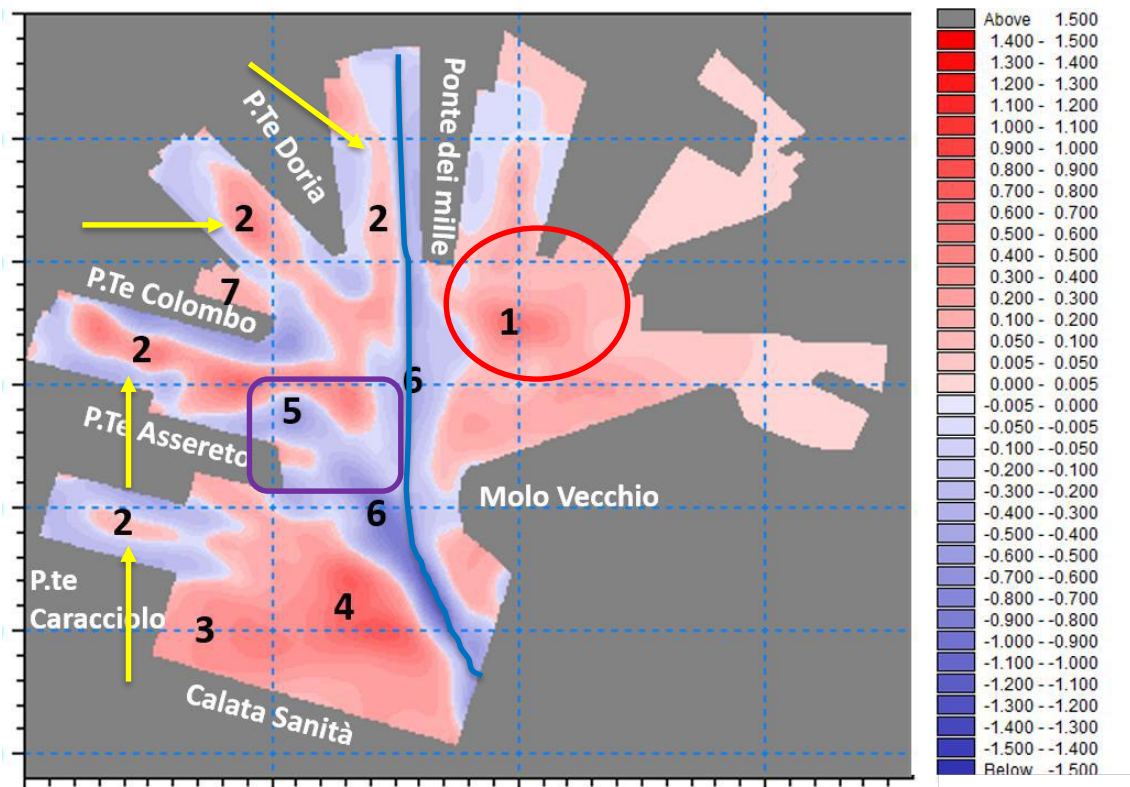


Ingresso accosto 1012



# Dinamica del sedimento su base annuale

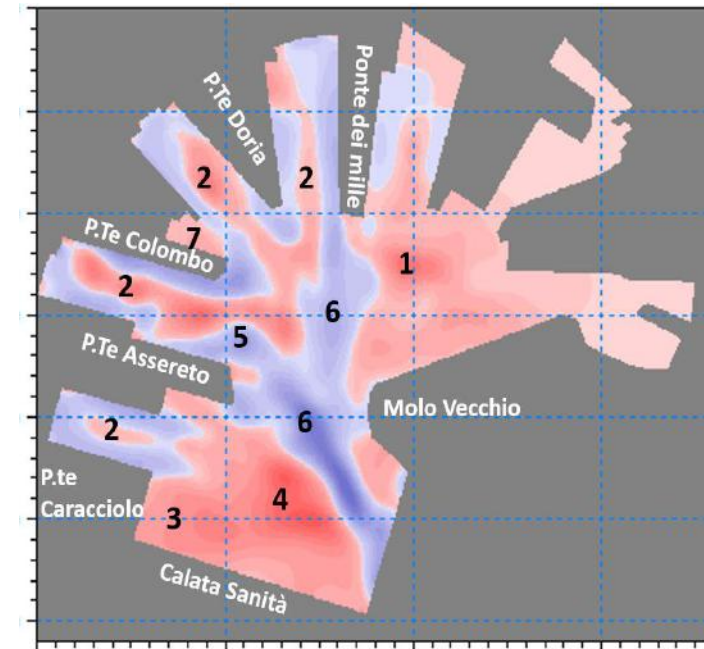
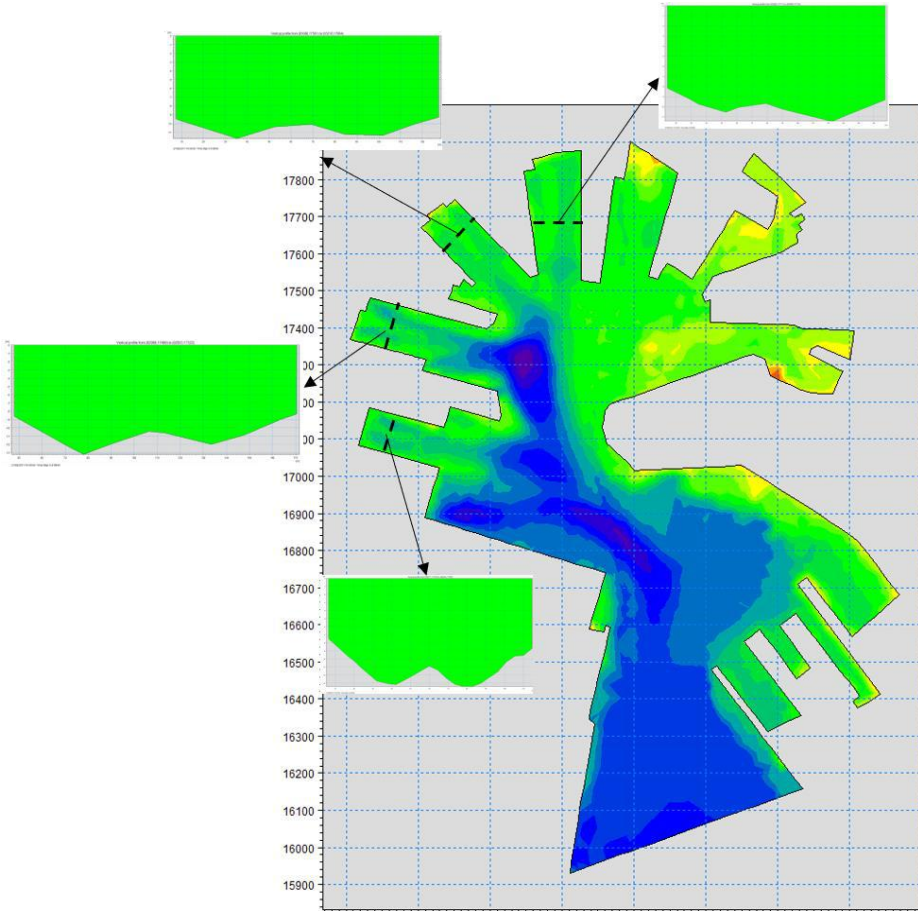
Attraverso la **sovrapposizione degli effetti** del passaggio di ogni singola nave durante l'anno di riferimento (2017) si sono potute **ricostruire le dinamiche di erosione e deposizione dei sedimenti** del fondale del bacino Passeggeri del porto di Genova:



- 1 – accrescimento di alcune decine di cm/anno, con punte localizzate di 40-50 cm
- 2 – accrescimento generalizzato in tutte le zone centrali delle darsene
- 3 – area della fossa di conferimento, in parziale erosione a causa delle evoluzioni dei traghetti
- 4 – tendenziale erosione: al di sotto degli scafi / lungo le rotte principali

# Validazione dei risultati – dinamica darsene

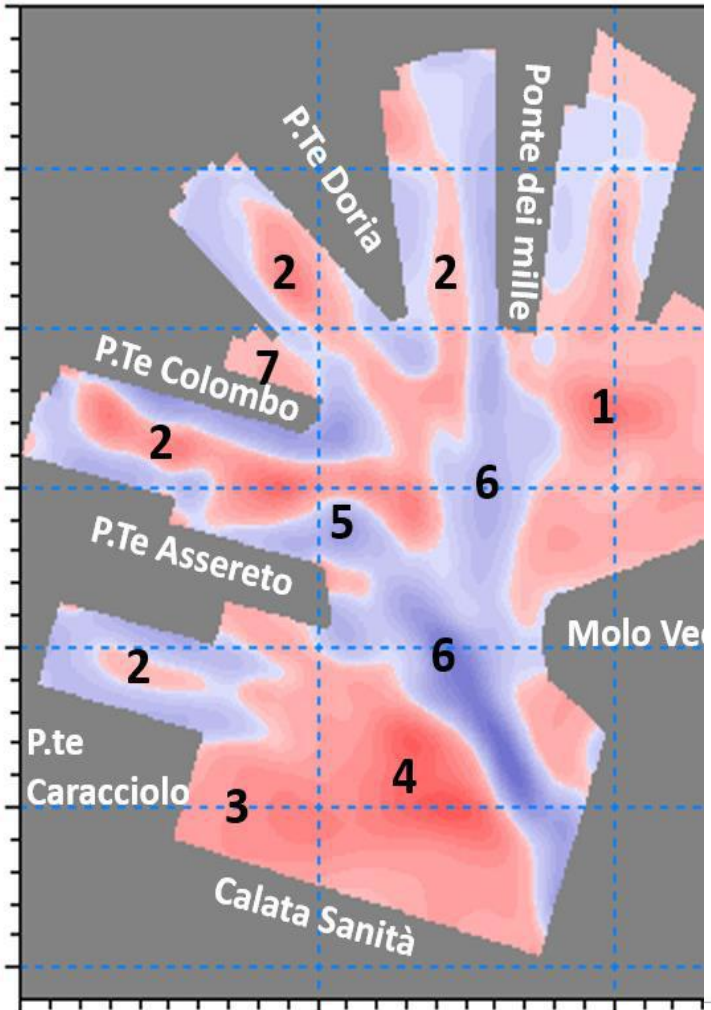
La topografia di fondo delle darsene mostra una chiara tendenza **depositiva al centro** ed erosiva verso le banchine, ben rappresentata qualitativamente dal modello



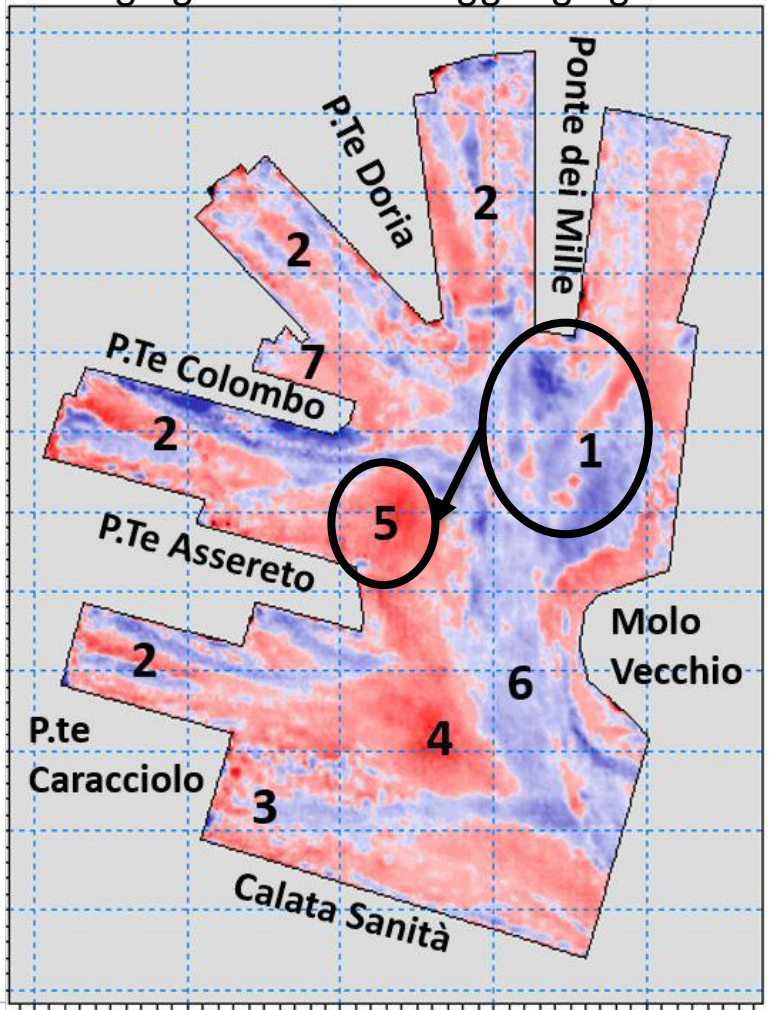


# Validazione dei risultati – dinamica generale del sedimento

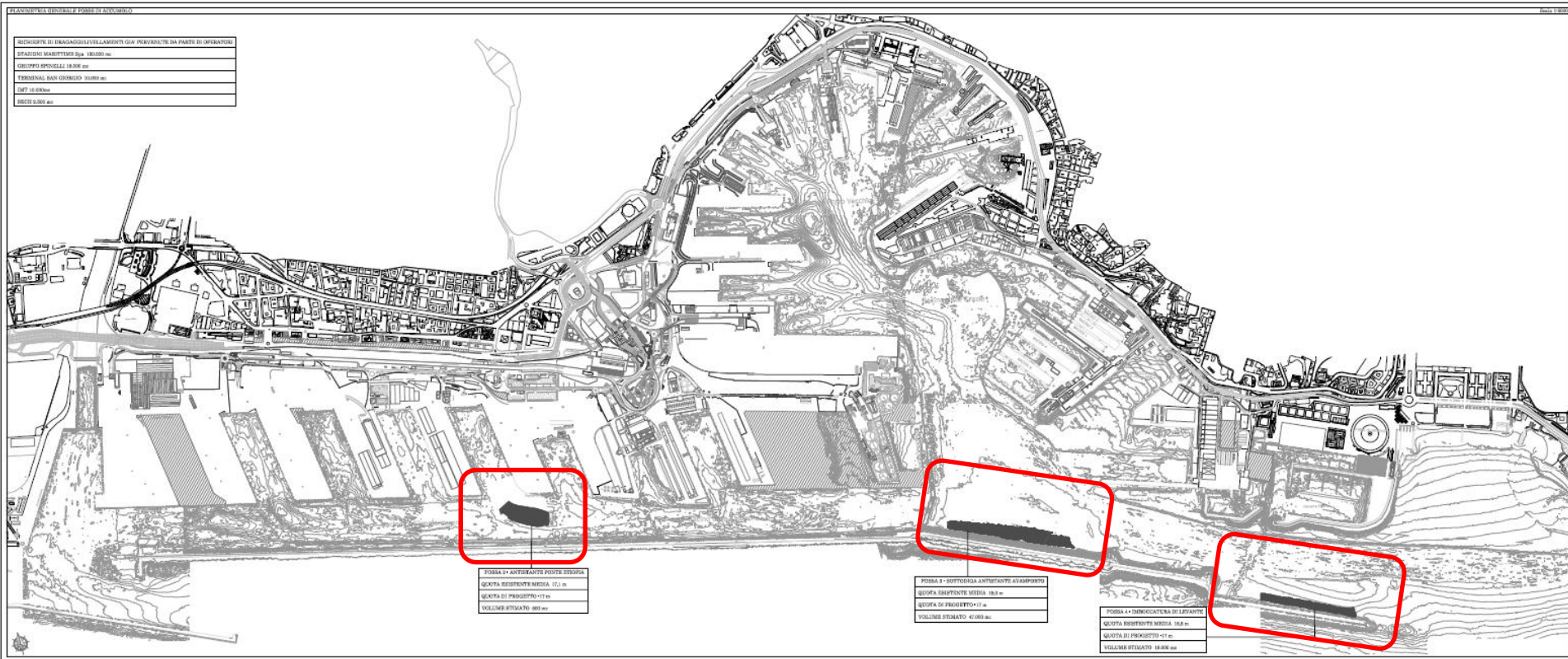
Risultato modello (2017)



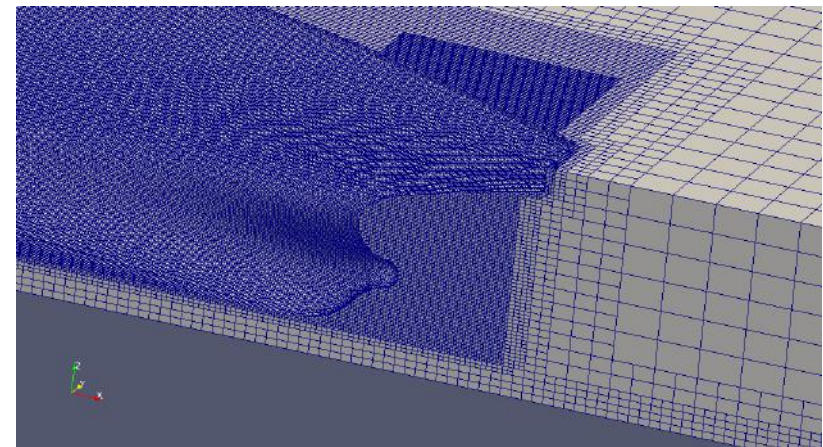
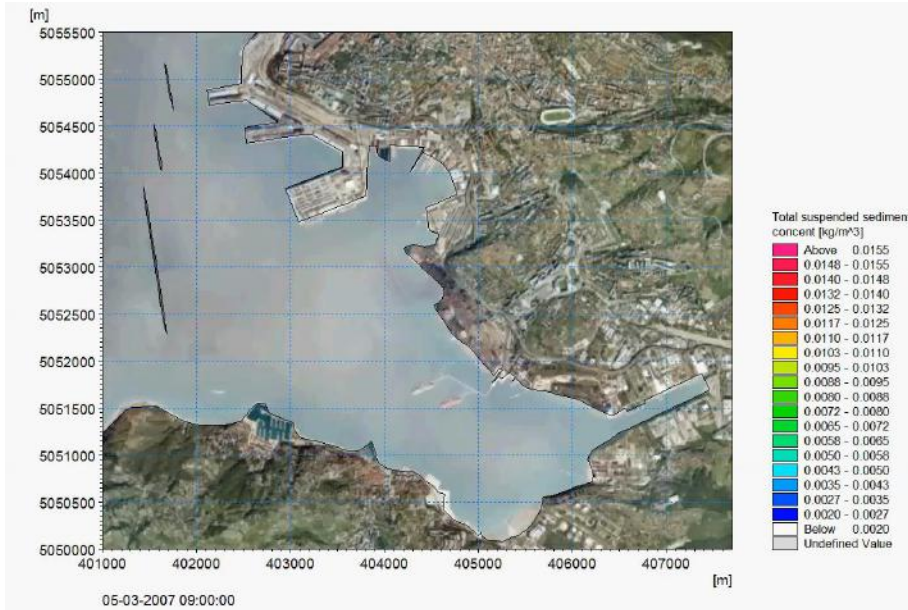
Rilievi Drafinsub srl  
marzo-giugno 2018 e maggio-giugno 2017



# Nuovi siti di conferimento



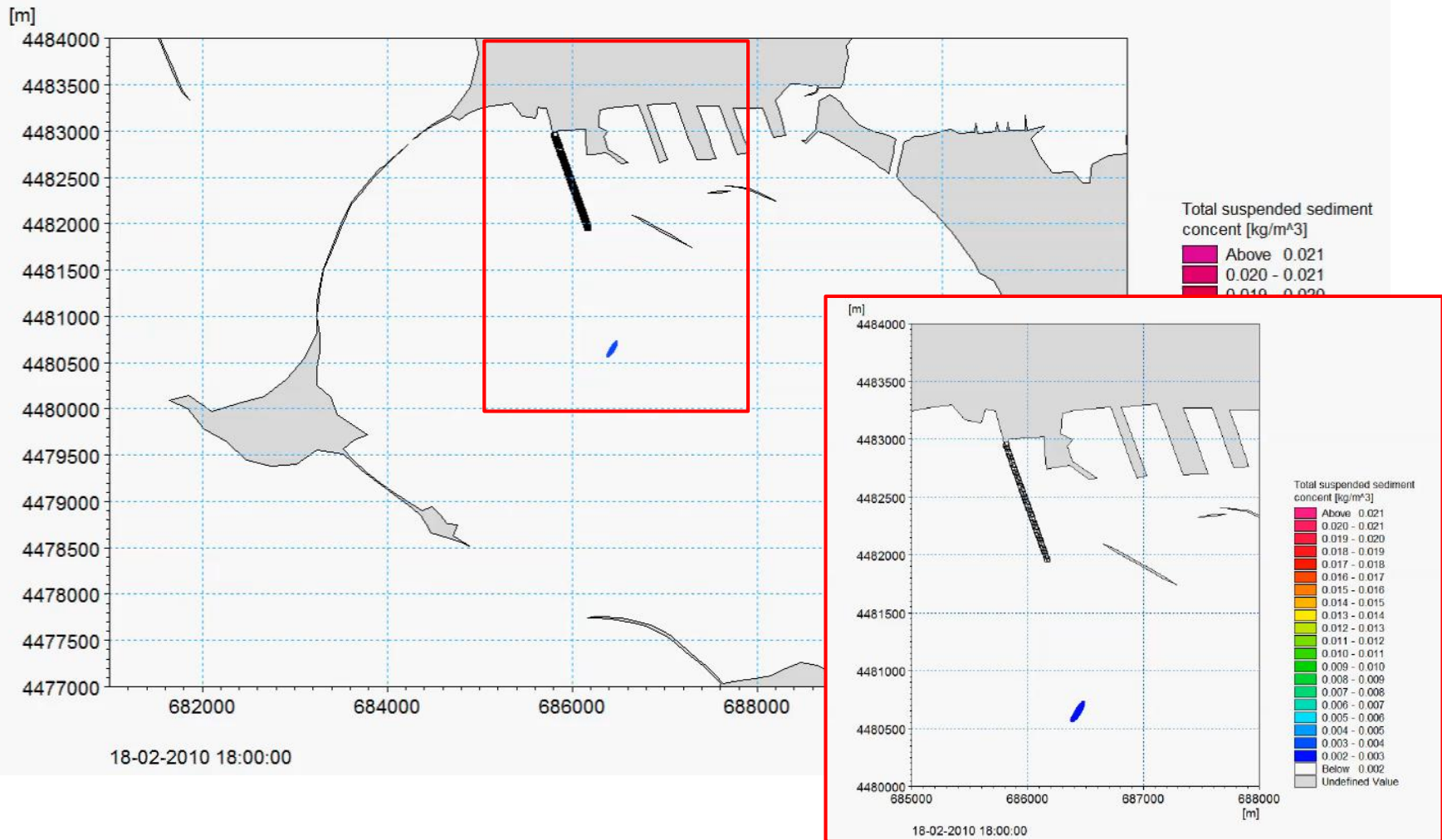
# Ricadute ambientali: Dispersione dei sedimenti – porto di Trieste



Concentrazione del sedimento in  
sospensione al passaggio di una  
container-ship

# Ricadute ambientali:

## Dispersione dei sedimenti – porto di Taranto



# Piattaforme integrate: Ismael – porto di Bari

## Control tower

Ricostruzione virtuale porto

Situazione realtime navi

Storico navi

Previsione arrivi

## Torbidità

Simulazione scenari torbidità

Visualizzazione 3D torbidità



## Qualità aria

Monitoraggio rete sensori aria

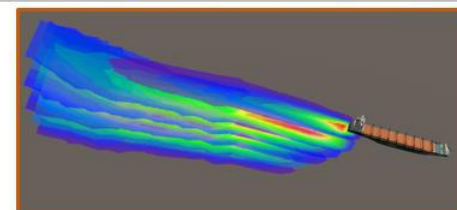
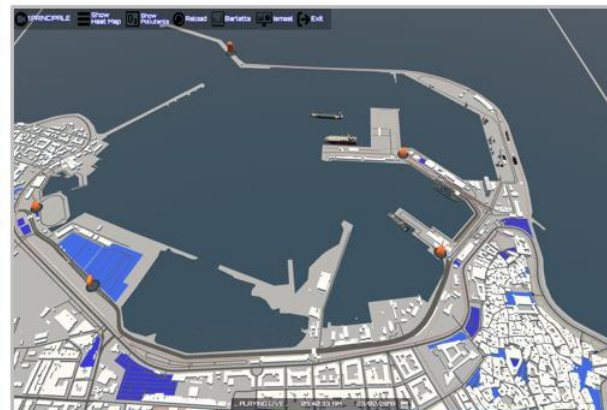
Modello ambientale

Visualizzazione heatmap inquinanti

## Insabbiamento

Simulazione eventi insabbiamento

Visualizzazione 3D batimetria



## Piattaforma ISMAEL

Frontend web

Frontend 3D

Business logic

Data analytics

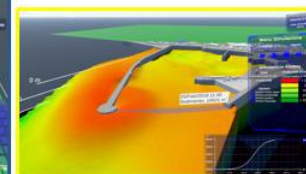
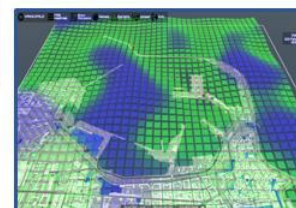
Machine learning

DSS

Aggregatore

Sensori

Sistemi informativi esterni



*Operazione cofinanziata con il Fondo Europeo di Sviluppo Regionale Puglia (POR Puglia 2014 - 2020)*

# CONCLUSIONI

- la risospensione dei sedimenti indotta dal traffico navale presenta importanti **ricadute gestionali ed ambientali** all'interno dei porti;
- in merito **ricadute gestionali**, il caso studio del porto di Genova ha mostrato come la modellistica numerica possa costituire un fondamentale strumento a supporto della **pianificazione degli interventi di livellamento e dragaggio manutentivo** dei fondali portuali;
- in merito alle **ricadute ambientali**, gli effetti del traffico navale sulla risospensione dei sedimenti costituiscono una tematica di estrema attualità. Si potrebbe prevedere una specifica trattazione in una futura revisione del manuale ISPRA?

*Grazie per l'attenzione!*