



## PROGETTO AdSP n. 1951

*Estensione delle infrastrutture comuni per lo sviluppo del Punto Franco Nuovo nel porto di Trieste*

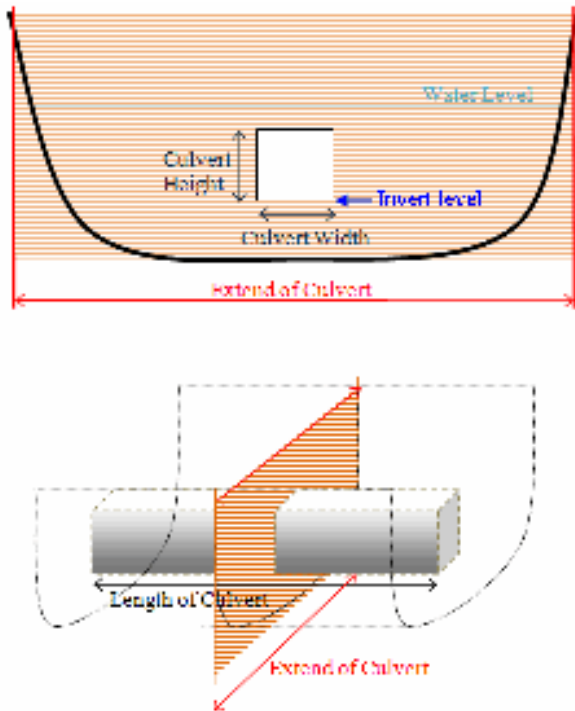
CUP: C94E21000/ 60001

### Progetto di Fattibilità Tecnico Economica Fascicolo A– intervento PNC da autorizzare

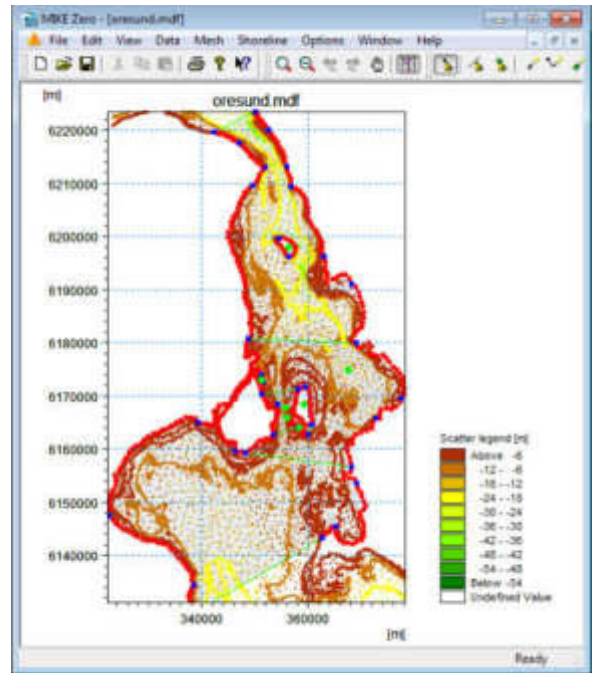
GRUPPO DI PROGETTAZIONE:		
arch. Gerardo Nappa	AdSP MAO	Responsabile dell'integrazione e Coordinatore per la Sicurezza in fase di Progettazione
arch. Sofia Dal Piva	AdSP MAO	Progettazione generale
arch. Stefano Semenic	AdSP MAO	Progettazione generale
ing. Roberto Leoni	BITECNO S.r.l.	Sistema di trazione elettrica ferroviaria
ing. Saturno Minnucci	MINNUCCI ASSOCIATI S.r.l.	Impianti speciali e segnalamenti ferroviari
ing. Dario Fedrigo	ALPE ENGINEERING S.r.l.	Progettazione strutturale oo.cc. ferrovia e strade
ing. Andrea Guidolin p.i. Furio Benci	SQS S.r.l.	Progettazione della sicurezza
ing. Sara Agnoletto	HMR Ambiente S.r.l.	Progettazione MISP e cassa di colmata
p.i. Trivellato, dott. G. Malvasi, dott. S. Bartolomei	p.i. Antonio Trivellato d.i.	Modellazione rumore, atmosfera, vibrazioni
dott. Gabriele Cailotto ing. Anca Tamasan	NEXTECO S.r.l.	Studio di impatto ambientale e piano di monitoraggio ambientale
ing. Sebastiano Cristoforetti	CRISCON S.r.l.s.	Relazione di sostenibilità
ing. Tommaso Tassi	F&M Ingegneria S.p.A.	Progettazione degli edifici pubblici nel contesto dell'ex area "a caldo"
ing. Michele Titton	ITS s.r.l.	Connessione stradale alla GVT
RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO: ing. Paolo Crescenzi		

NOME FILE: <i>IGNR_P_R_M-MAR_3AM_001_04_00.docx</i>	SCALA: ---
TITOLO ELABORATO: <b>STUDIO METEOMARINO parte 3 di 3</b>	ELABORATO: <i>IGNR_P_R_M-MAR_3AM_001_04_00</i>

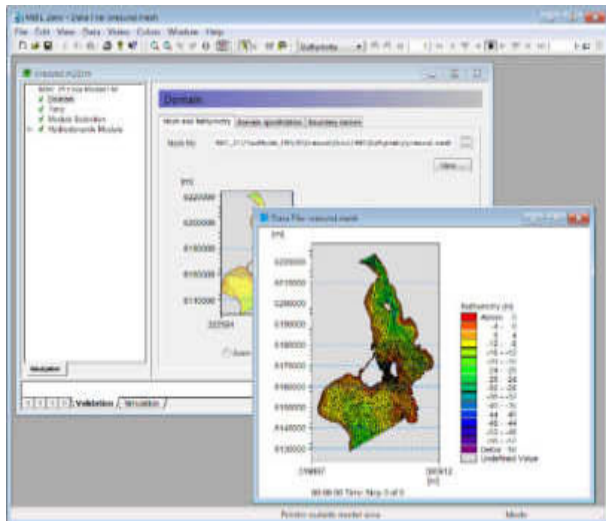
Rev.	Data	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato
00	01/02/2023	Definitivo	DHI	S.Dal Piva	G.Nappa



Setup definition of culvert structure



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



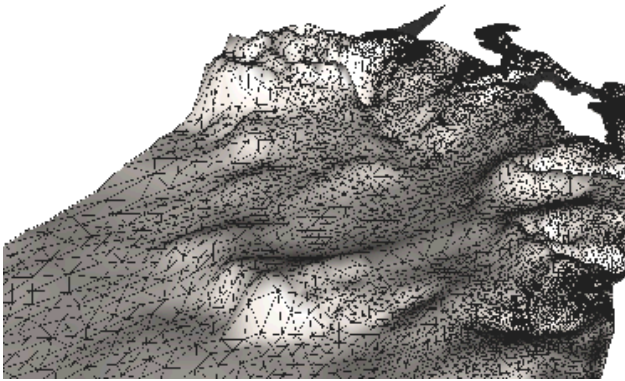
View button on all the GUIs in MIKE 21 & MIKE 3 FM HD for graphical view of input and output files

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



2D visualization of a computational mesh (Odense Estuary)

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



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

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

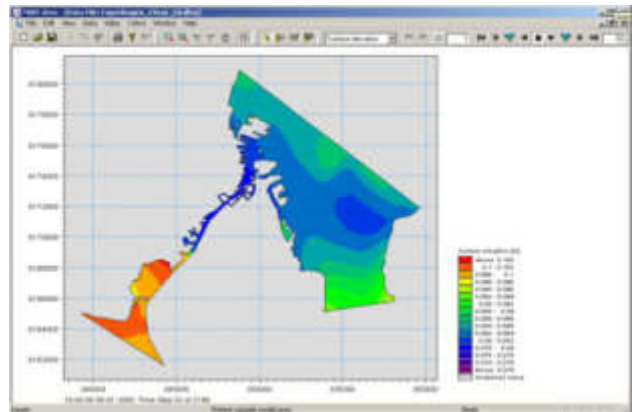
Output from MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM is typically post-processed using the Data Viewer available in the common MIKE Zero shell. The Data Viewer is a tool for analysis and visualization of unstructured data, e.g. to view meshes, spectra, bathymetries, results files of different format with graphical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

3D visualization of a computational mesh

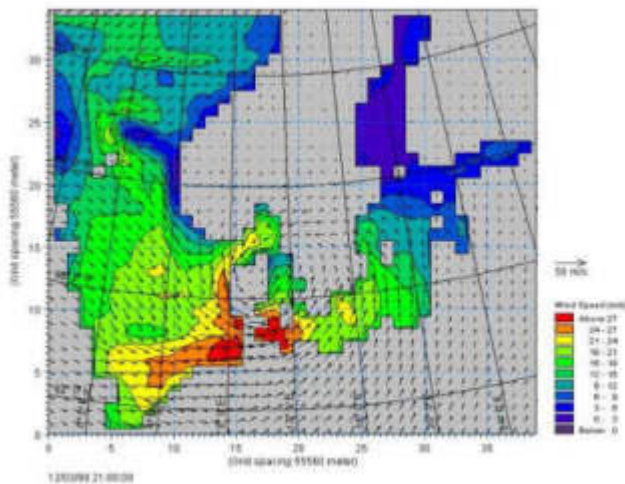
If wind data is not available from an atmospheric meteorological model, the wind fields (e.g. cyclones) can be determined by using the wind-generating programs available in MIKE 21 Toolbox.

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

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



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

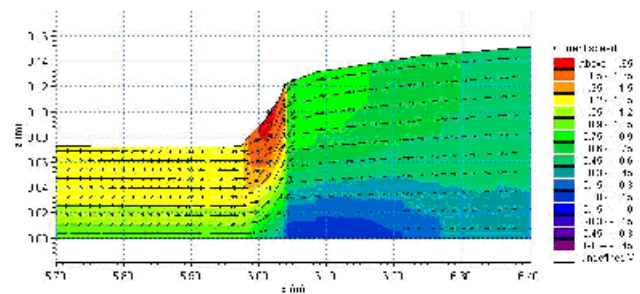


The chart shows a hindcast wind field over the North Sea and Baltic Sea as wind speed and wind direction

### Model Output

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

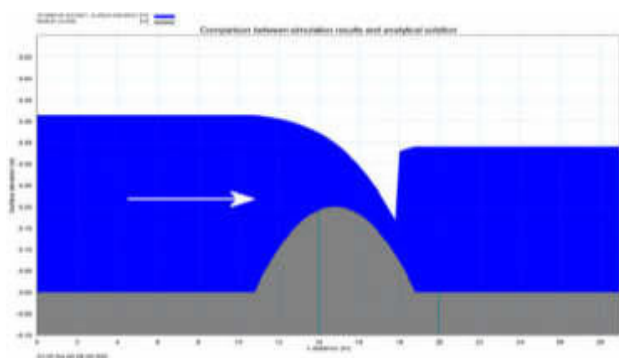
- Basic variables
  - water depths and surface elevations
  - flux densities in main directions
  - velocities in main directions
  - densities, temperatures and salinities



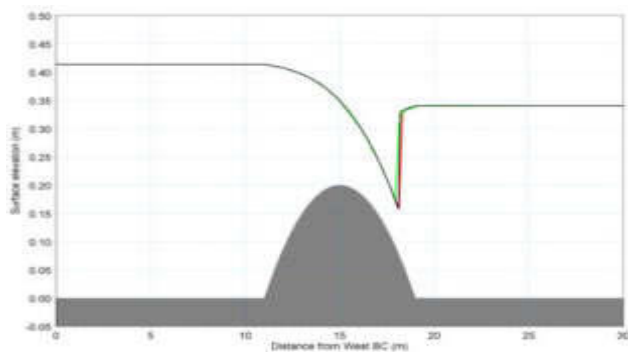
Vector and contour plot of current speed at a vertical profile defined along a line in Data Viewer in MIKE Zero

### Validation

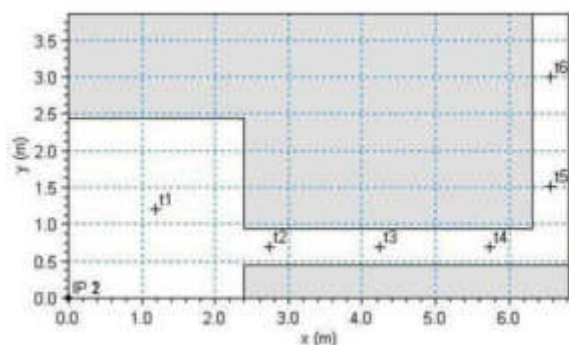
Prior to the first release of MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM in year 19xx the model has successfully been applied to a number of basic idealized situations for which the results can be compared with analytical solutions or information from the literature.



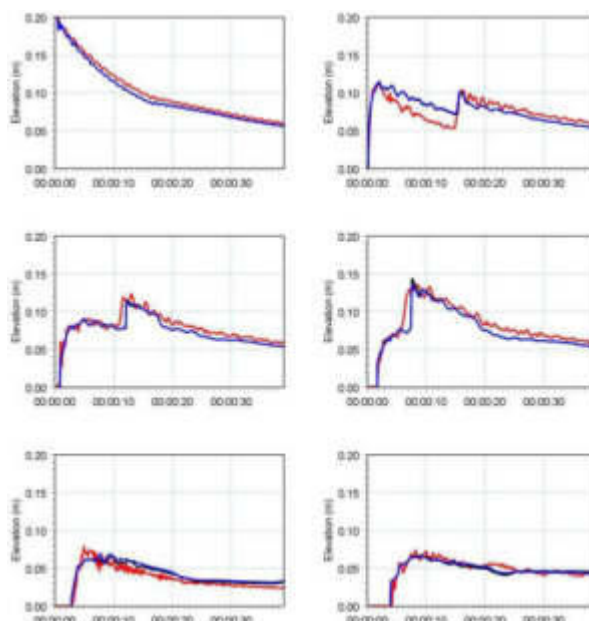
The domain is a channel with a parabola-shaped bump in the middle. The upstream (western) boundary is a constant flux and the downstream (eastern) boundary is a constant elevation. Below: the total depths for the stationary hydraulic jump at convergence. Red line: 2D setup, green line: 3D setup, black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



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

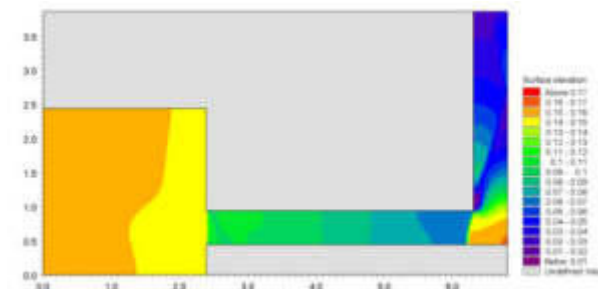
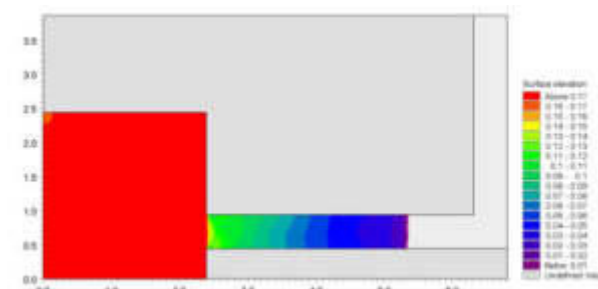


a) Outline of model setup showing the location of gauging points



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

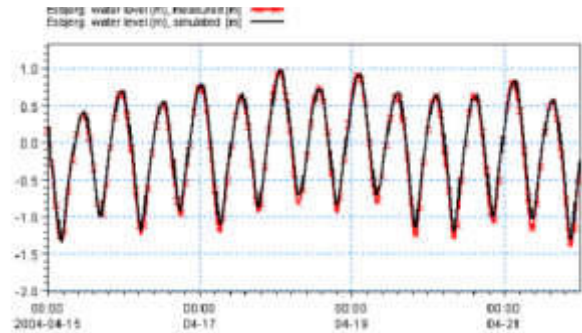
The model has also been applied and tested in numerous natural geophysical conditions; ocean scale, inner shelves, estuaries, lakes and overland, which are more realistic and complicated than academic and laboratory tests.



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



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



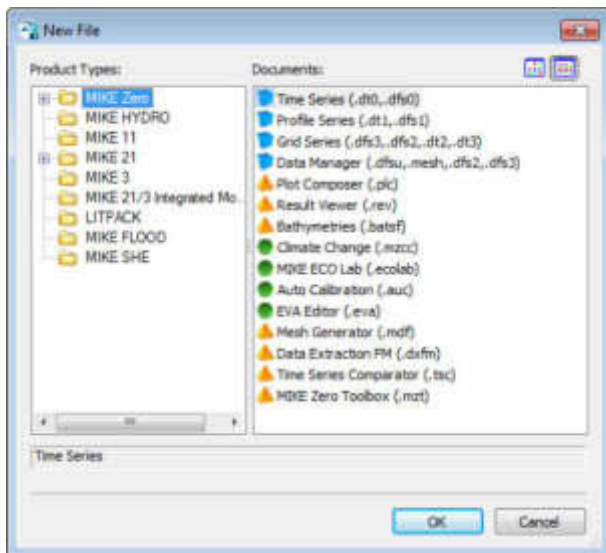
Comparison between measured and simulated water levels

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

## Graphical User Interface

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

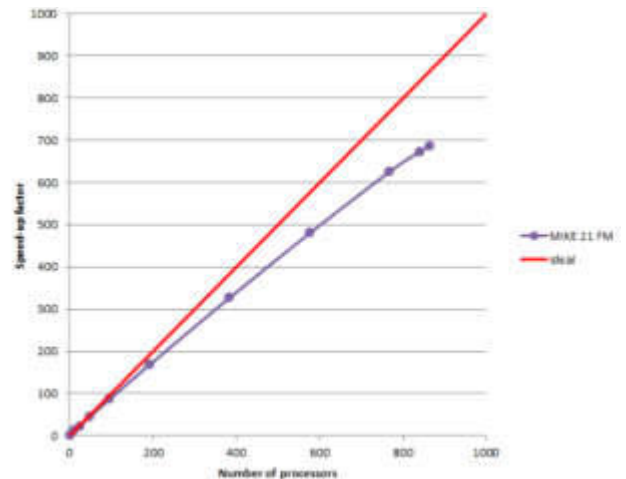
The common MIKE Zero shell provides entries for common data file editors, plotting facilities and utilities such as the Mesh Generator and Data Viewer.



Overview of the common MIKE Zero utilities

## Parallelisation

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



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

## Hardware and Operating System Requirements

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

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

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

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

## Support

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

[www.mikepoweredbydhi.com/Download/DocumentsAndTools.aspx](http://www.mikepoweredbydhi.com/Download/DocumentsAndTools.aspx)

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

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

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

[mike@dhigroup.com](mailto:mike@dhigroup.com)  
[www.mikepoweredbydhi.com](http://www.mikepoweredbydhi.com)

## Further Reading

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

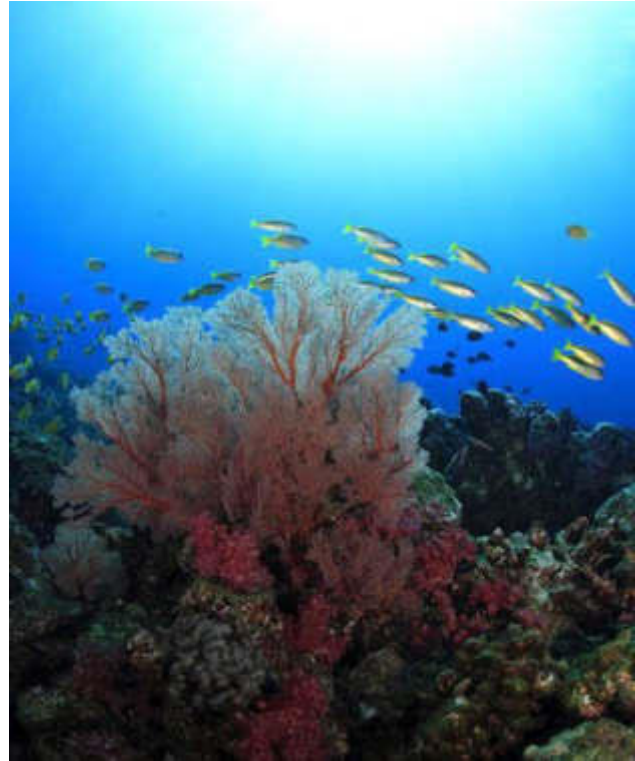
French, B. and Kerper, D. Salinity Control as a Mitigation Strategy for Habitat Improvement of Impacted Estuaries. 7<sup>th</sup> Annual EPA Wetlands Workshop, NJ, USA 2004.

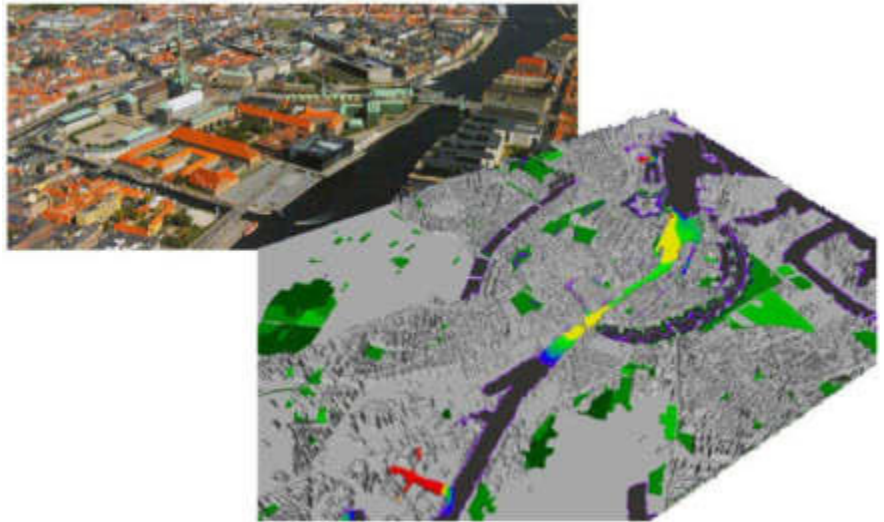
DHI Note, "Flood Plain Modelling using unstructured Finite Volume Technique" January 2004 – download from

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

## Documentation

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





## MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM

Transport Module

Short Description





**DHI headquarters**

Agern Allé 5  
DK-2970 Hørsholm  
Denmark

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

[mike@dhigroup.com](mailto:mike@dhigroup.com)  
[www.mikepoweredbydhi.com](http://www.mikepoweredbydhi.com)

## MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM - Transport Module

The Transport Module simulates the spreading and fate of dissolved or suspended substances in an aquatic environment under the influence of the fluid transport and associated dispersion processes. The substance may be of any kind, conservative or non-conservative, inorganic or organic. Non-conservative substances are distinguished by the manner in which they decay. Examples of linearly decaying substances are tracers that are absorbed to particulate matter.

The hydrodynamic basis for the Transport Module is calculated with the Hydrodynamic Module (HD). The hydrodynamic modules can be applied for both barotropic (constant density) or baroclinic flows. In the latter case, the effect of variable density on the flow is included by solving the transport equations for salt and temperature. The viscosities or diffusivities in the hydrodynamic module are described either as simple constant or calculated using state-of-the-art turbulence models.

### Application Areas

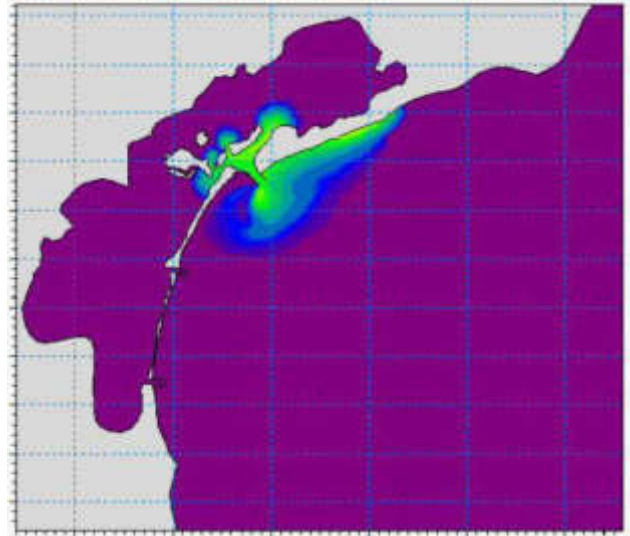
The Transport Module can be applied to a wide range of hydraulic and related phenomena. The application areas are generally problems where flow and transport phenomena are important with emphasis on coastal and marine applications, where the flexibility inherited in the unstructured meshes can be utilised.

Typical substances, which are modelled using the Transport Module are:

- Tracers
- Coliform bacteria
- Xenobiotic compounds

Typical applications include flushing studies, tracer simulations and simple water quality studies. In relation to point pollution sources the Transport Module can be used for conservative approximations of transport and dispersion of e-coli bacteria provided sufficient choice of decay coefficient.

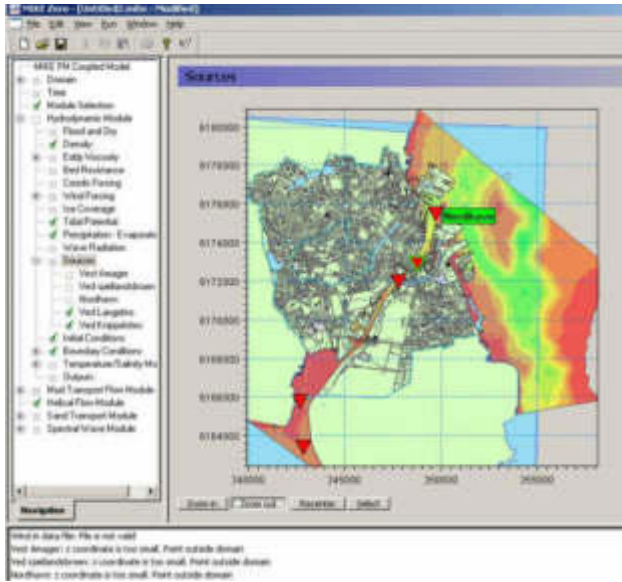
The Ecology and Water Quality Module (MIKE ECO Lab) is closely integrated with the Transport Module and the Hydrodynamic Module. MIKE ECO Lab simulates reaction processes in multi-compound systems or of substances with a more complex decay than linear, i.e. decay of substances that also depend on light intensity like e-coli. This enables complex ecosystem studies in coastal areas, estuaries and lakes.



Typical applications with the MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM Transport Module include tracer studies as shown above in the Venice lagoon



Example of plumes from outfall with colours indicating different concentrations



Example of user interface where sources from CSO's are specified to be used in model simulations to compare different abatement schemes, or online as input to forecasts of water quality

### Computational Features

The main features of MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM – Transport Module are as follows:

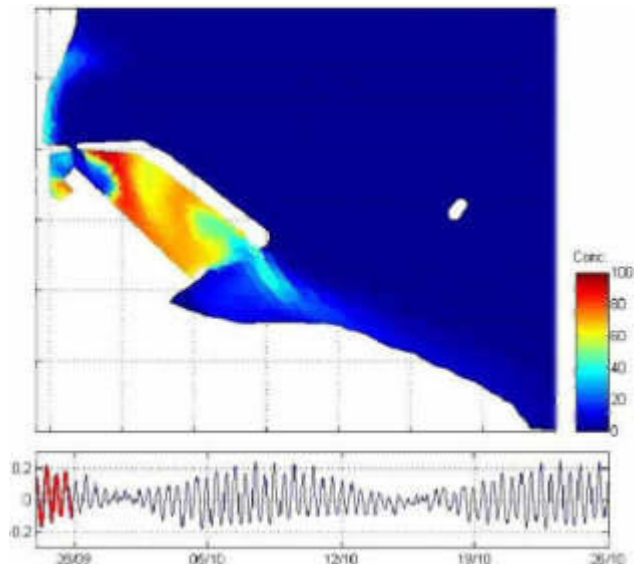
- Conservative substances
- Linear decay
- Sources and sinks (mass and momentum)

### Model Equations

MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM Transport Module is dynamically linked to the Hydrodynamic Module.

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

For the 3D model, the free surface is taken into account using a sigma-coordinate transformation approach.



Flushing study example from a harbour on Tahiti.  
Top: An initial concentration field is placed in the harbour and the dilution due to advection-dispersion processes are then simulated with the HD-TR modules.  
Bottom: Time series of tidal elevations



Example of bathing water quality forecasts from a municipality north of Copenhagen. The forecasts are made available on a dedicated bathing water quality webpage

### Scalar quantity

The Transport Module can calculate the transport of a scalar quantity. The conservation equation for a scalar quantity is given by

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uC}{\partial x} + \frac{\partial vC}{\partial y} + \frac{\partial wC}{\partial z} = F_C + \frac{\partial}{\partial z} \left( D_v \frac{\partial C}{\partial z} \right) - k_p C + C_s S$$

The horizontal diffusion term is defined by

$$F_C = \left[ \frac{\partial}{\partial x} \left( D_h \frac{\partial}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( D_h \frac{\partial}{\partial y} \right) \right] C$$

For 2D calculations, the conservation equation is integrated over depth and defined by

$$\frac{\partial h\bar{C}}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}\bar{C}}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}\bar{C}}{\partial y} = hF_C - hk_p\bar{C} + hC_s S$$

#### Symbol list

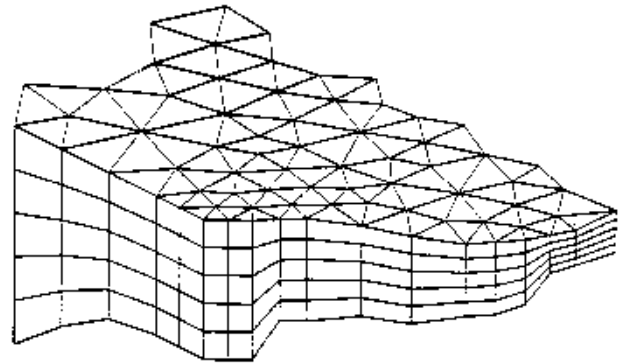
$t$	time
$x, y, z$	Cartesian coordinates
$D_v$	vertical turbulent (eddy) diffusion coefficient
$S$	magnitude of discharge due to point sources
$F_C$	horizontal diffusion term
$D_h$	horizontal diffusion coefficient
$h$	depth
$\bar{u}, \bar{v}$	depth-averaged velocity components
$C$	concentration of scalar quantity
$k_p$	linear decay rate of scalar quantity
$C_s$	concentration of scalar quantity in source

### Solution Technique

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

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

The time integration is performed using an explicit scheme.



Principle of 3D mesh

### Model Input Data

The necessary input data to the transport model is, besides the input for the hydrodynamic model alone, information about the components to simulate:

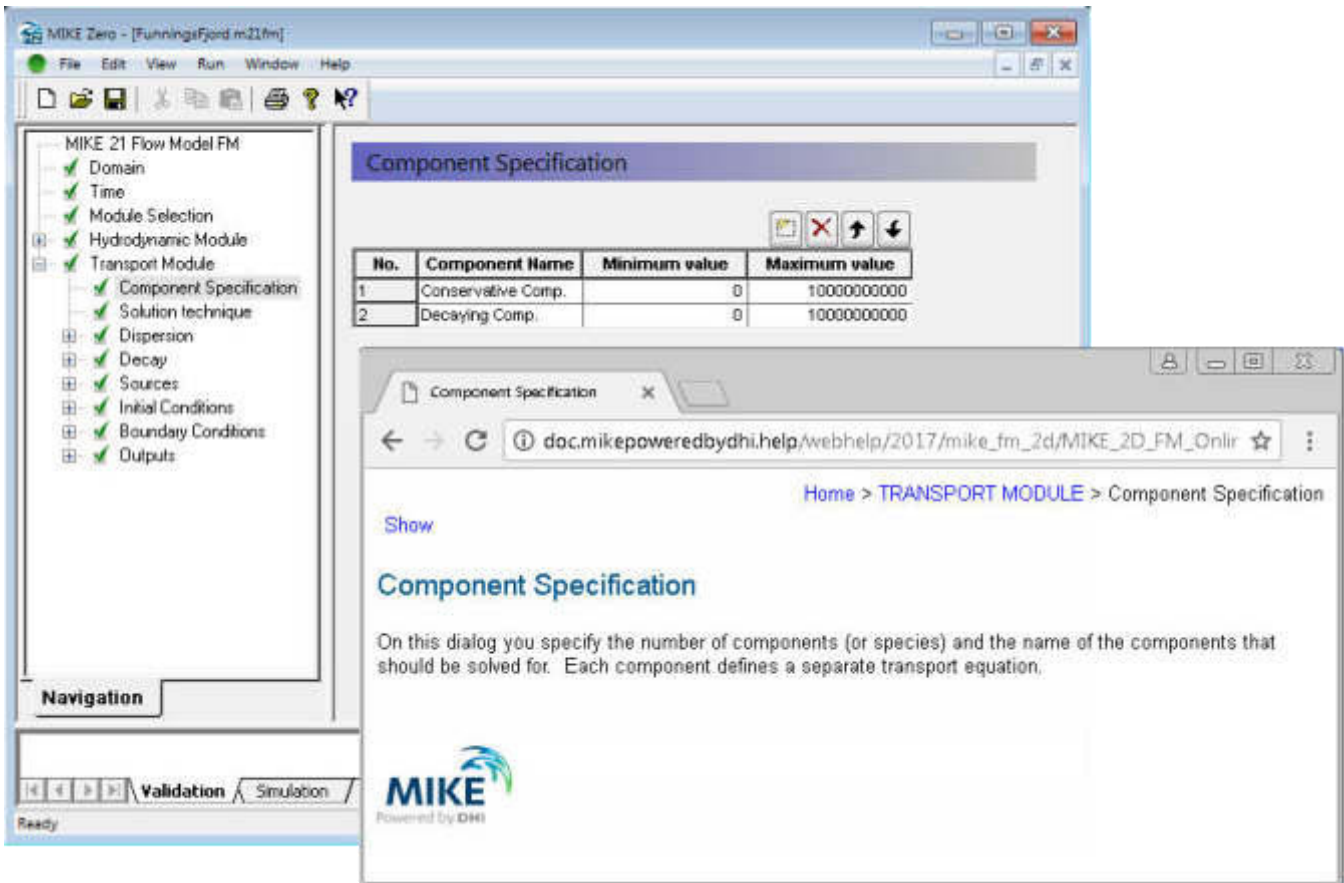
- Component type
- Dispersion coefficients
- Decay information
- Initial conditions
- Boundary conditions



Example of Flexible Mesh generated for a flushing study in Port of Malmö, Sweden. The background image is from MIKE C-Map which enables extraction of land contours and water depths from digitized Admiralty Charts provided by Jeppesen Norway

### Model Output Data

The output from the model includes the concentrations of the given components. It is possible to specify the format of the output files in MIKE 21 & MIKE 3 as times series of points, lines, areas and volumes (three-dimensional calculations only).

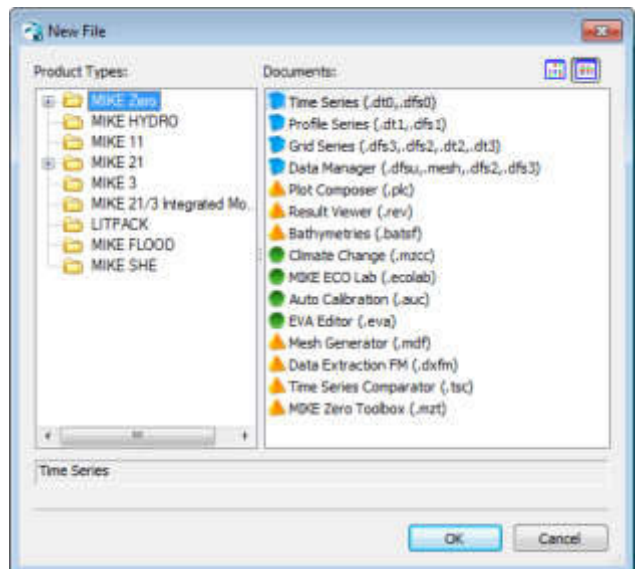


Graphical user interface of the MIKE 21 Flow Model FM, Transport Module, including an example of the Online Help System

### Graphical User Interface

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

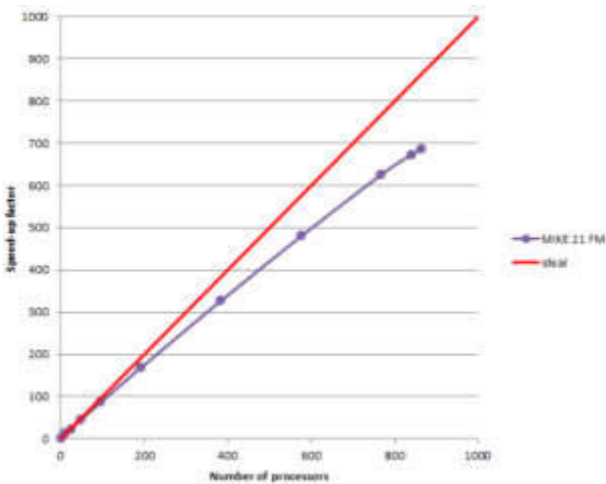
The common MIKE Zero shell provides entries for common data file editors, plotting facilities and a toolbox for/utilities as the Mesh Generator and Data Viewer.



Overview of the common MIKE Zero utilities

## Parallelisation

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



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

## Hardware and Operating System Requirements

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

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

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

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

## Support

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

[www.mikepoweredbydhi.com/Download/DocumentsAndTools.aspx](http://www.mikepoweredbydhi.com/Download/DocumentsAndTools.aspx)

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

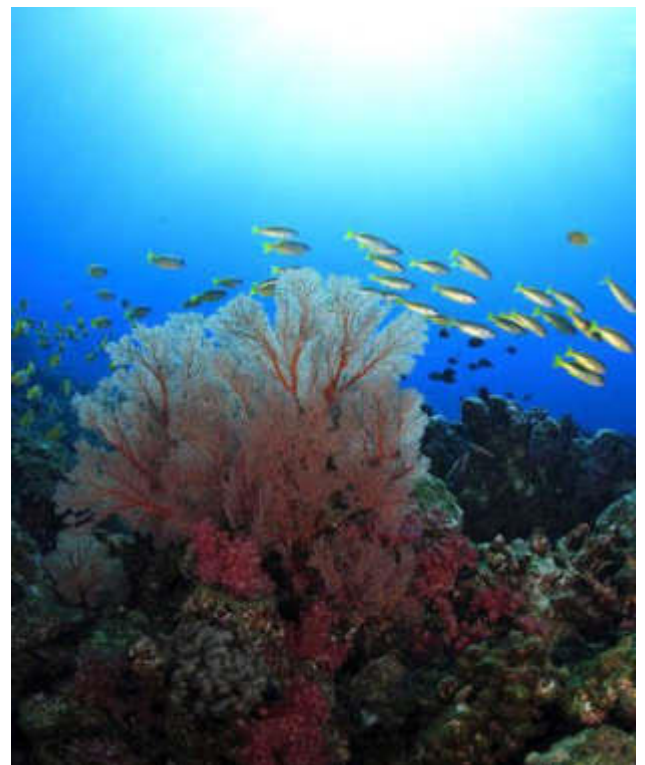
MIKE Powered by DHI Client Care  
 Agern Allé 5  
 DK-2970 Hørsholm  
 Denmark

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

[mike@dhigroup.com](mailto:mike@dhigroup.com)  
[www.mikepoweredbydhi.com](http://www.mikepoweredbydhi.com)

## Documentation

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







## MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM

### Mud Transport Module

#### Short Description





**DHI headquarters**

Agern Allé 5  
DK-2970 Hørsholm  
Denmark

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

[mike@dhigroup.com](mailto:mike@dhigroup.com)  
[www.mikepoweredbydhi.com](http://www.mikepoweredbydhi.com)

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

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

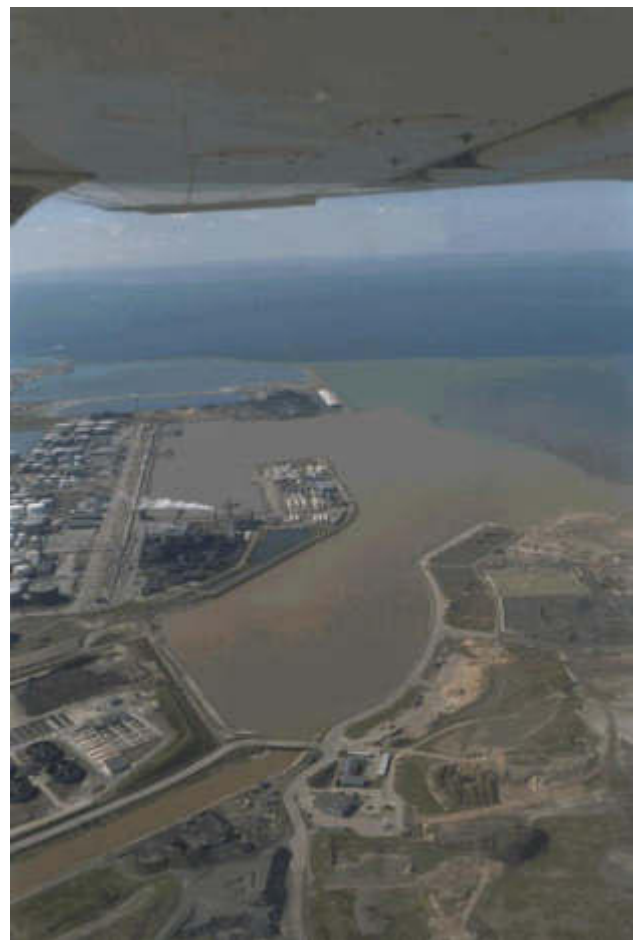
The MT module includes a state-of-the-art mud transport model that simulates the erosion, transport, settling and deposition of cohesive sediment in marine, brackish and freshwater areas. The module also takes into account fine-grained non-cohesive material.



Example of spreading of dredged material in Øresund, Denmark

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

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



Example of sediment plume from a river near Malmö, Sweden

## Application Areas

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

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



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

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

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

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

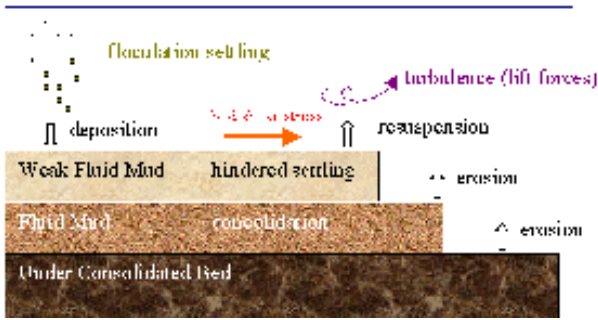


Example of muddy estuary. Caravelas, Brazil

## Computational Features

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

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



Example of modelled physical processes

### Model Equations

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

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

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

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

#### Symbol list

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

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

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



Mud plains in Loire River, France

### Settling velocity

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

#### Constant settling velocity

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

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

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

#### Flocculation

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

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

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

### Hindered settling

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

### Deposition

The deposition is described as (Krone, 1962):

$$S_D = w_s c_b P_D$$

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

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

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

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

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

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

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

where  $P_e$  is the Peclet number:

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

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

### Erosion

Erosion features the following two modes.

#### Hard bed

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

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

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

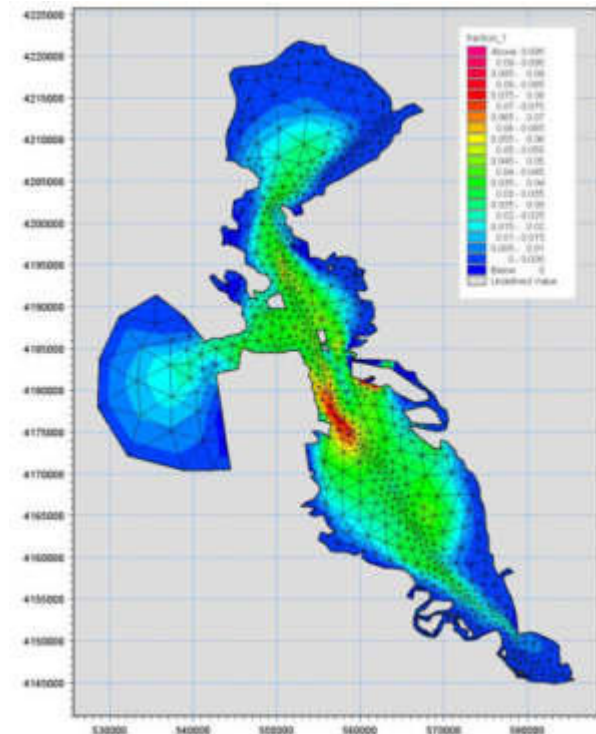
#### Soft bed

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

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

### Consolidation

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



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

## Solution Technique

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

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

The time integration is performed using an explicit scheme.

## Model Input

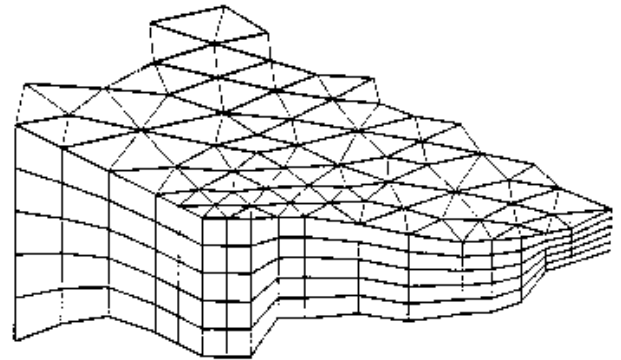
The generic nature of cohesive sediment dynamics reveals a numerical model that will always call for tremendous field work or calibration due to measurements performed. The following input parameters have to be given:

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

## Model Output

The main output possibilities are listed below:

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



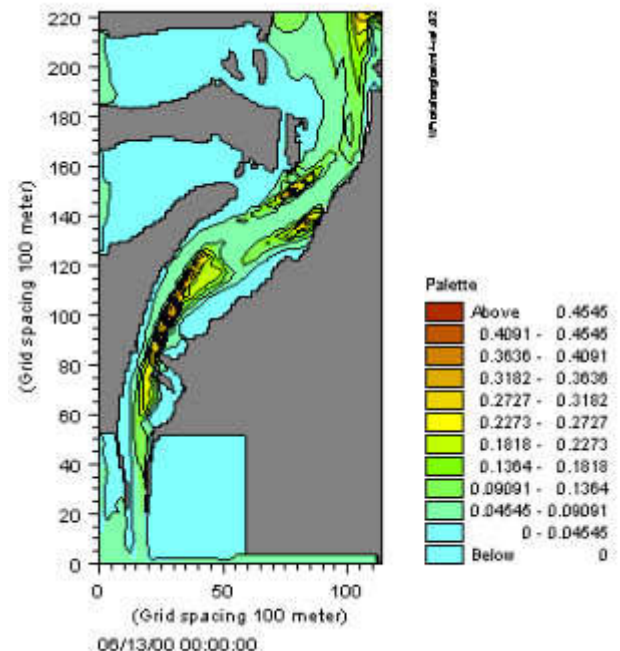
Principle of 3D mesh

## Validation

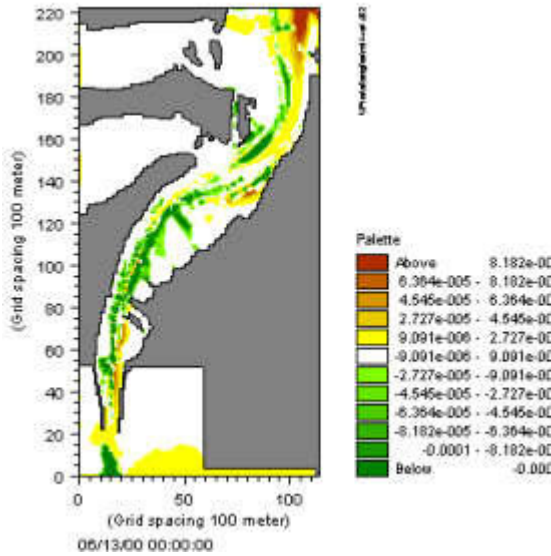
The model engine is well proven in numerous studies throughout the world:

### The Rio Grande estuary, Brazil

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



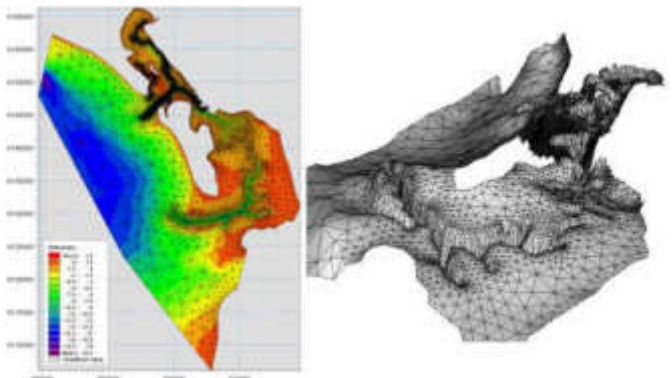
SSC in surface layer ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ), Rio Grande, Brazil



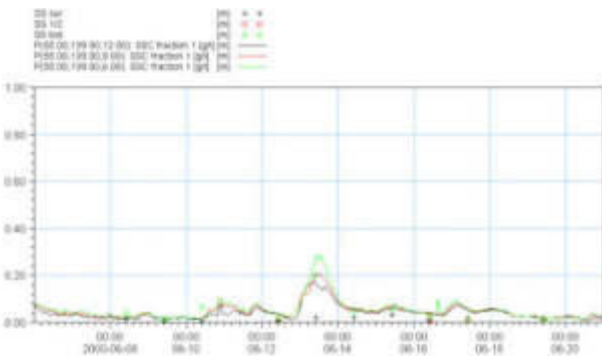
Graadyb tidal inlet (Skallingen), Denmark

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

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



Bathymetry and computational mesh for the Graadyb tidal inlet, Denmark

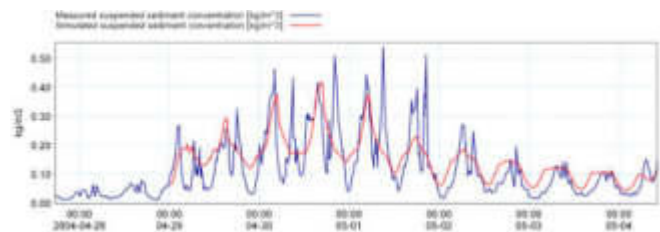


Suspended sediment concentrations, Rio Grande, Brazil

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

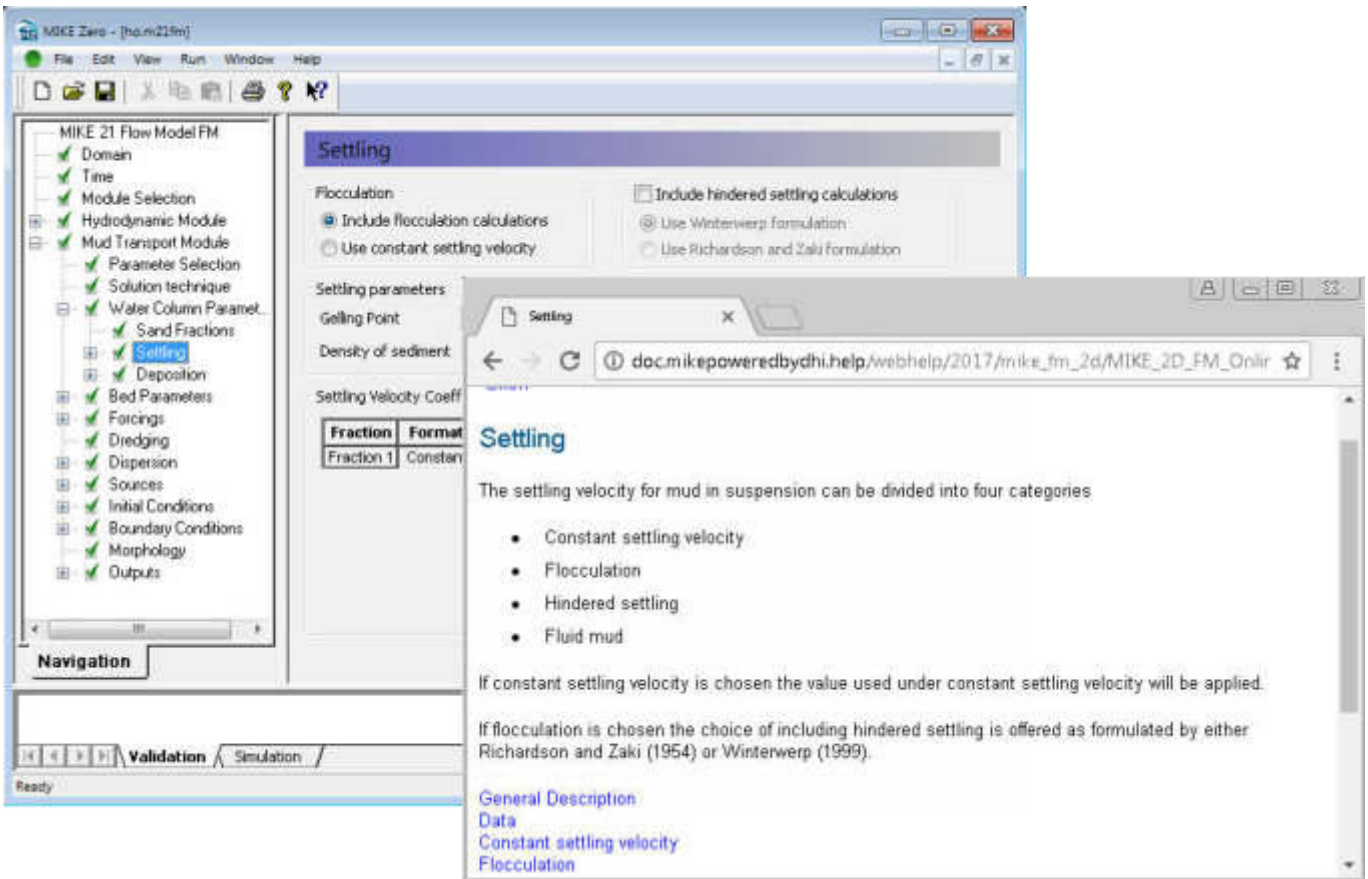
### The Graadyb tidal inlet, Denmark

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



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

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

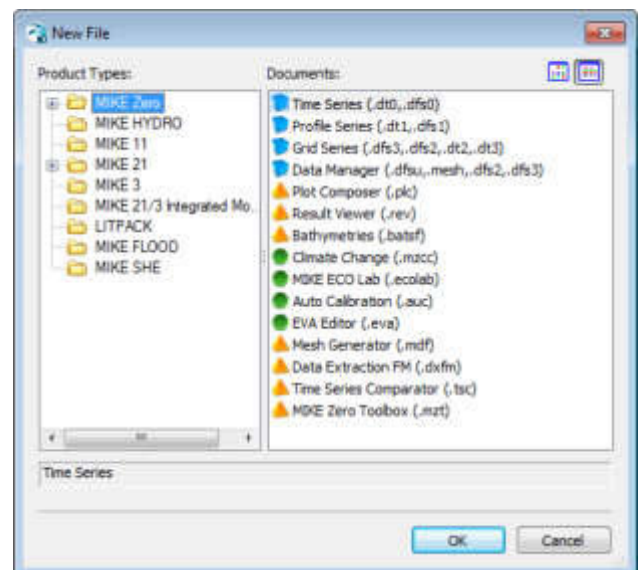


Graphical user interface of the MIKE 21 Flow Model FM, Mud Transport Module, including an example of the Online Help System

### Graphical User Interface

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

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

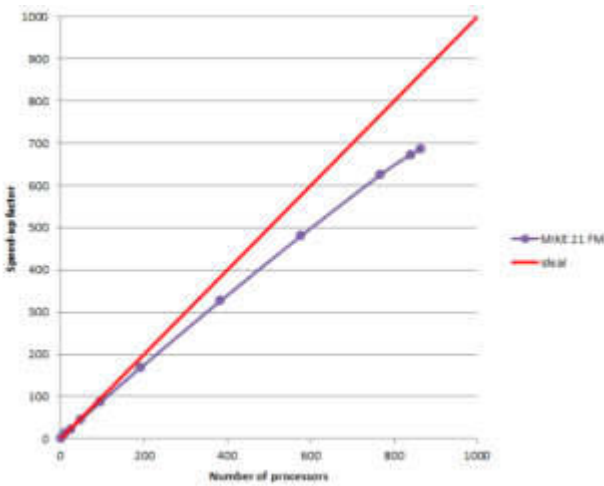


Overview of the common MIKE Zero utilities



## Parallelisation

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



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

## Hardware and Operating System Requirements

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

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

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

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

## Support

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

[www.mikepoweredbydhi.com/Download/DocumentsAndTools.aspx](http://www.mikepoweredbydhi.com/Download/DocumentsAndTools.aspx)

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

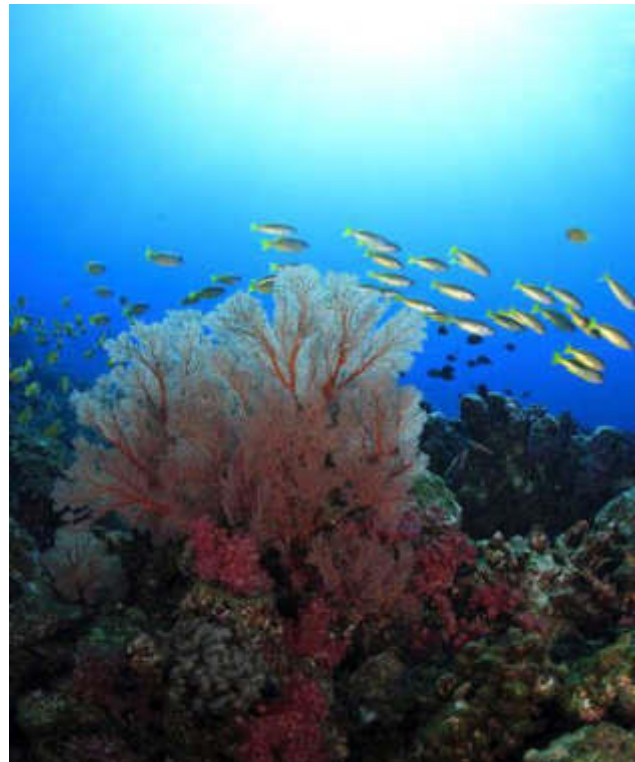
MIKE Powered by DHI Client Care  
Agern Allé 5  
DK-2970 Hørsholm  
Denmark

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

[mike@dhigroup.com](mailto:mike@dhigroup.com)  
[www.mikepoweredbydhi.com](http://www.mikepoweredbydhi.com)

## Documentation

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



## References

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

## References on applications

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



# MASSIMO ACCUMULO DI SEDIMENTO AL FONDO DA REALIZZAZIONE PALI

Mappe rappresentative del massimo accumulo di sedimento ottenuto come media dei massimi accumuli ottenuti per ciascuna simulazione; le mappe fanno riferimento all'intero anno e alle singole stagioni

## CONDIZIONE ANNUALE

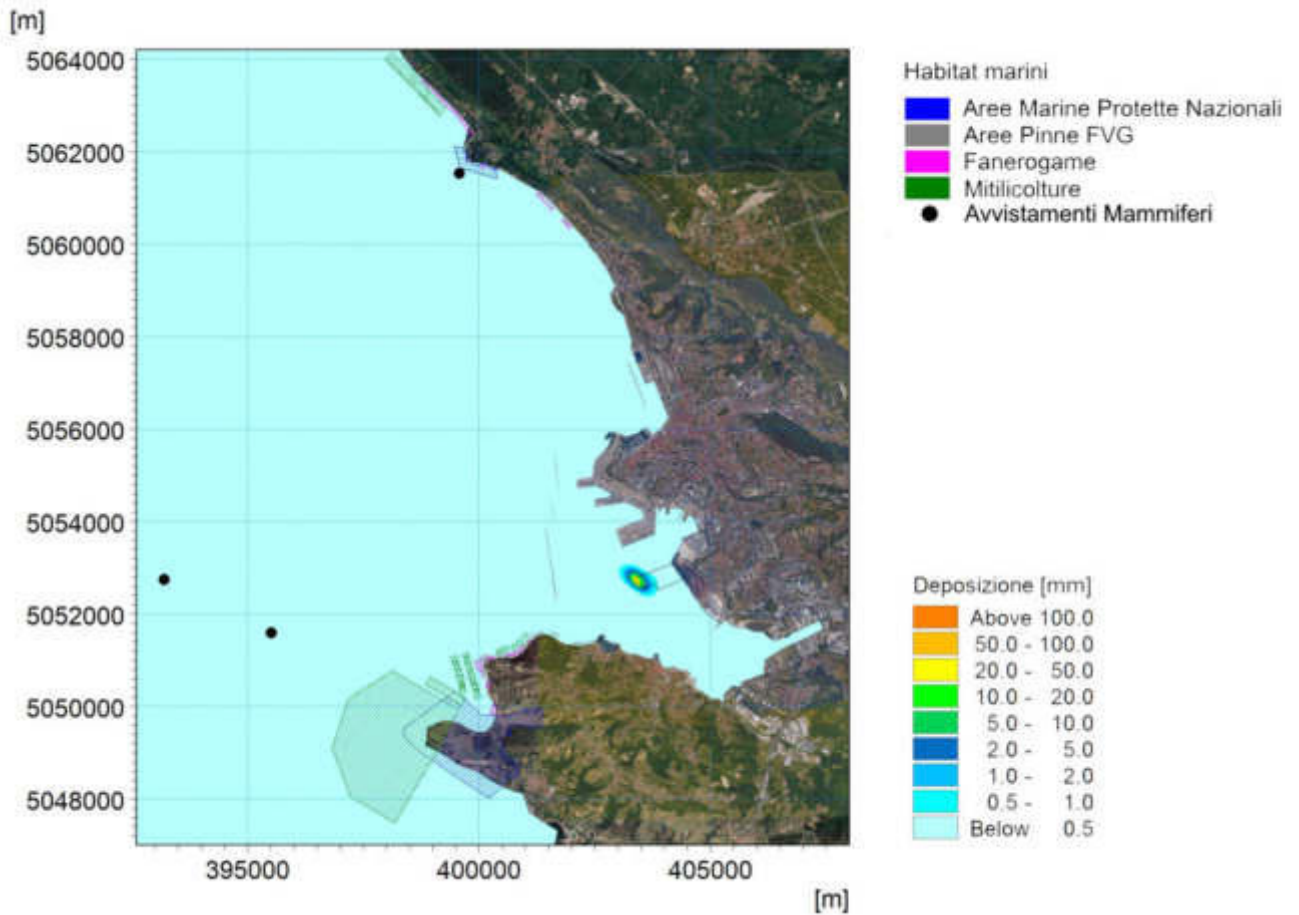


Figura 1 - Accumulo massimo del sedimento depositato [mm] a seguito della realizzazione dei pali in area P1 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate

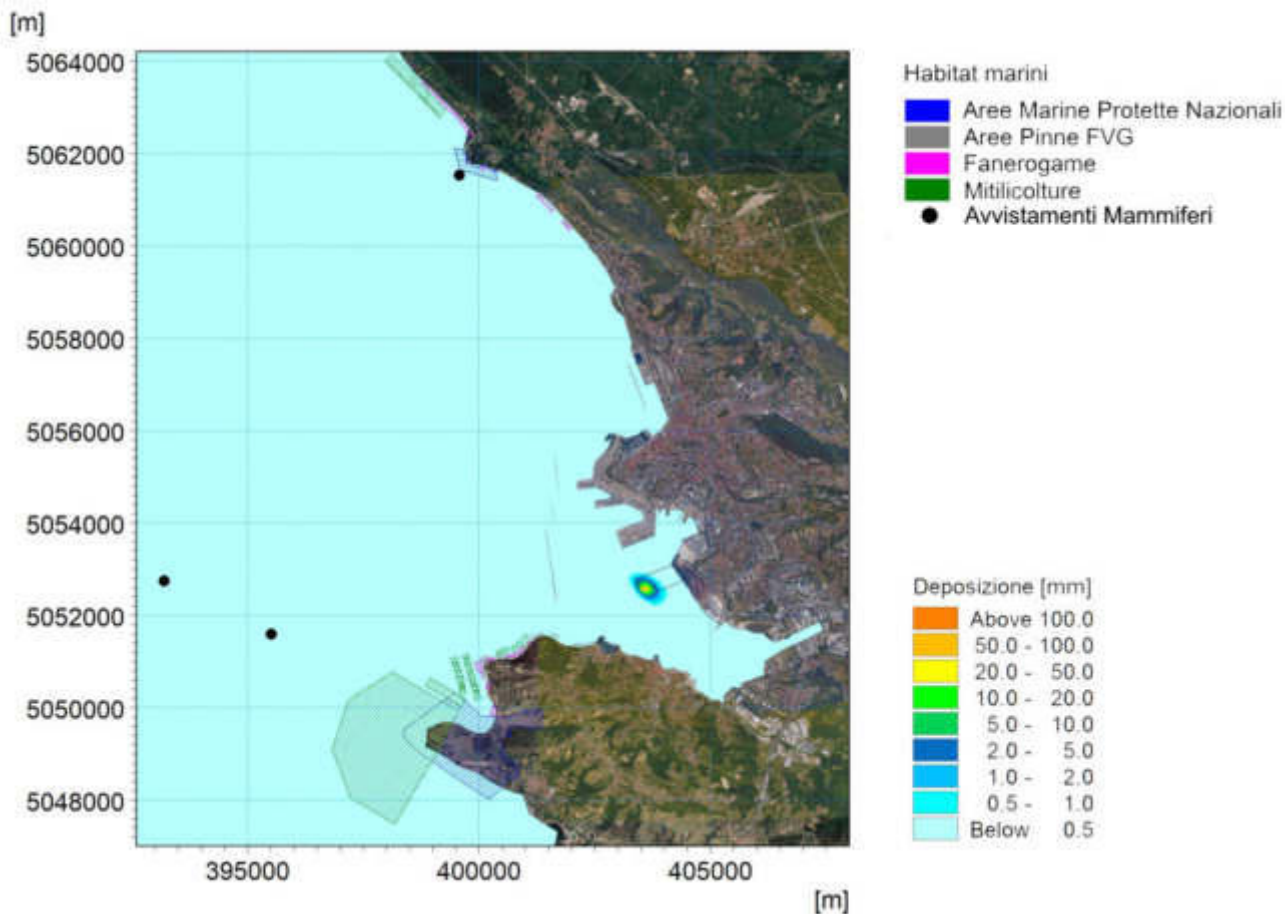


Figura 2 - Accumulo massimo del sedimento depositato [mm] a seguito della realizzazione dei pali in area P2 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate

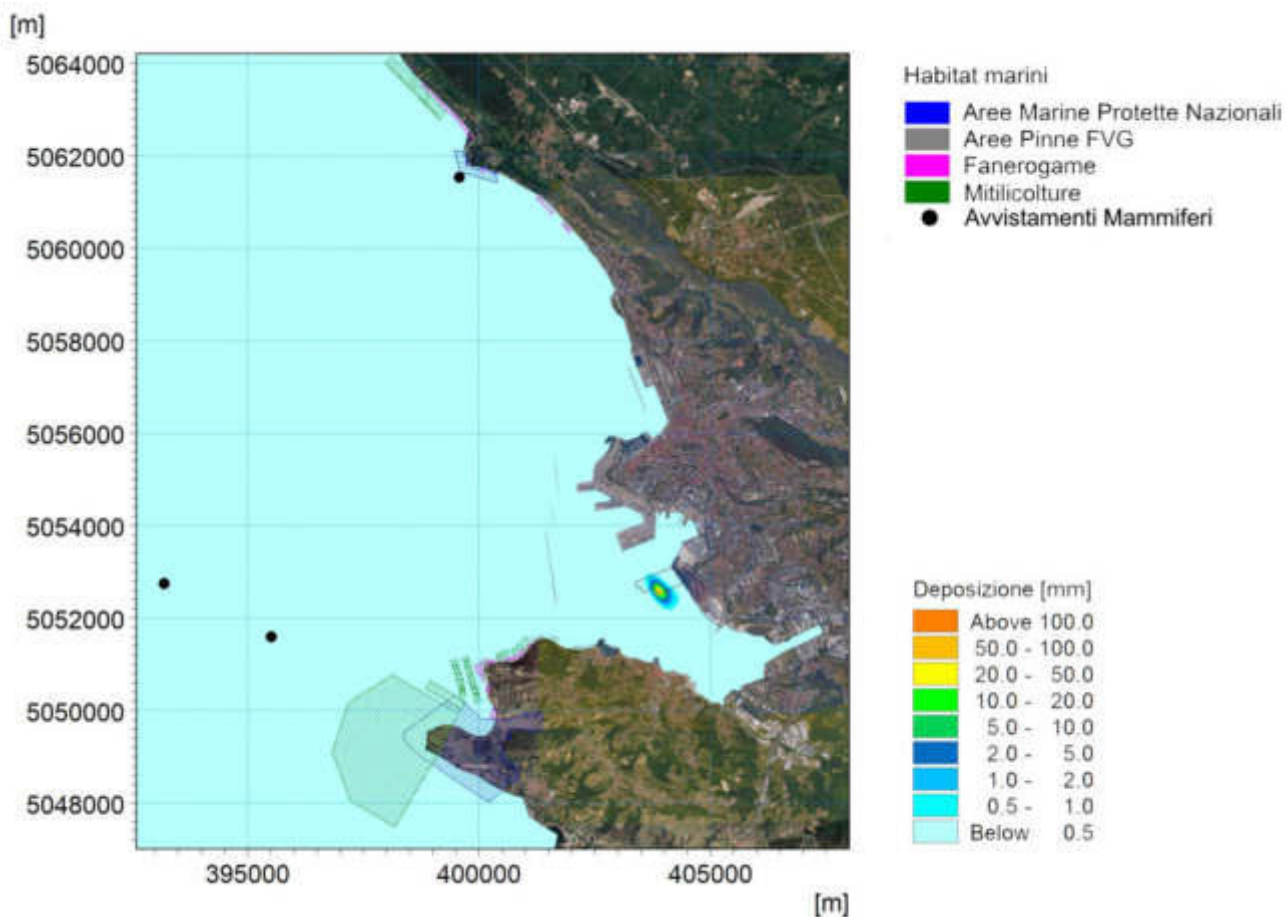


Figura 3 - Accumulo massimo del sedimento depositato [mm] a seguito della realizzazione dei pali in area P3 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate

# CONDIZIONE AUTUNNALE

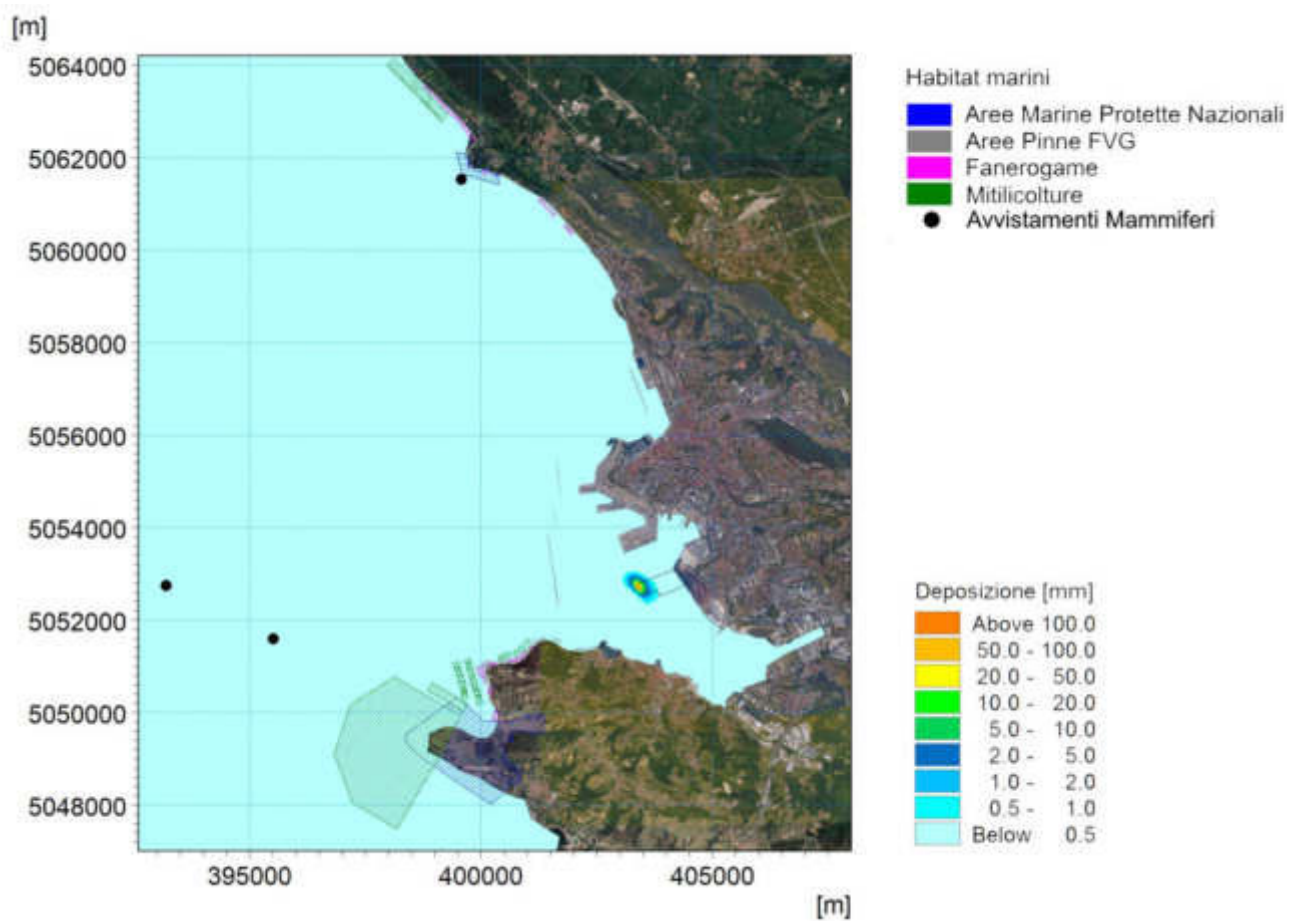


Figura 4 - Accumulo massimo del sedimento depositato [mm] a seguito della realizzazione dei pali in area P1 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi autunnali

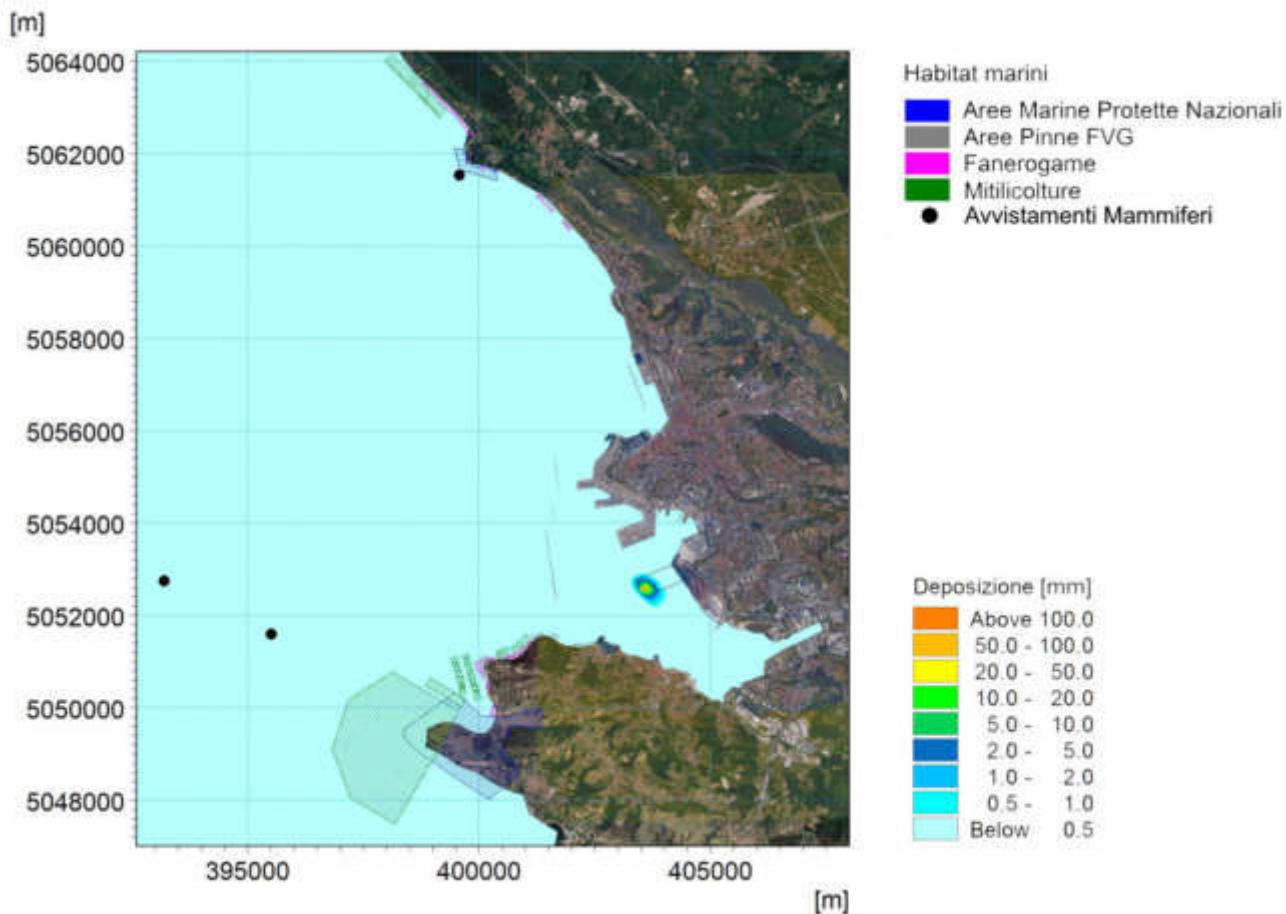


Figura 5 - Accumulo massimo del sedimento depositato [mm] a seguito della realizzazione dei pali in area P2 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi autunnali

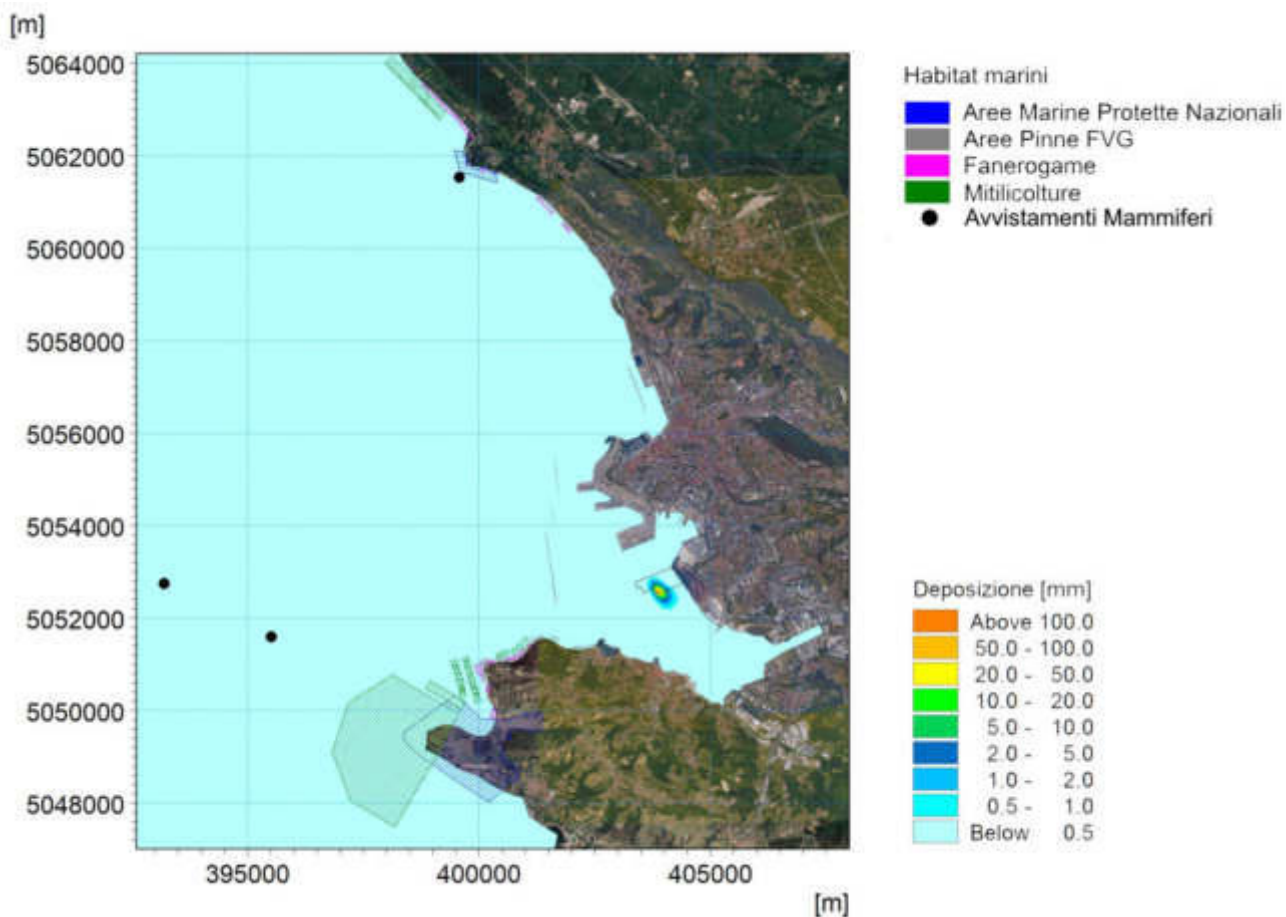


Figura 6 - Accumulo massimo del sedimento depositato [mm] a seguito della realizzazione dei pali in area P3 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi autunnali

# CONDIZIONE INVERNALE

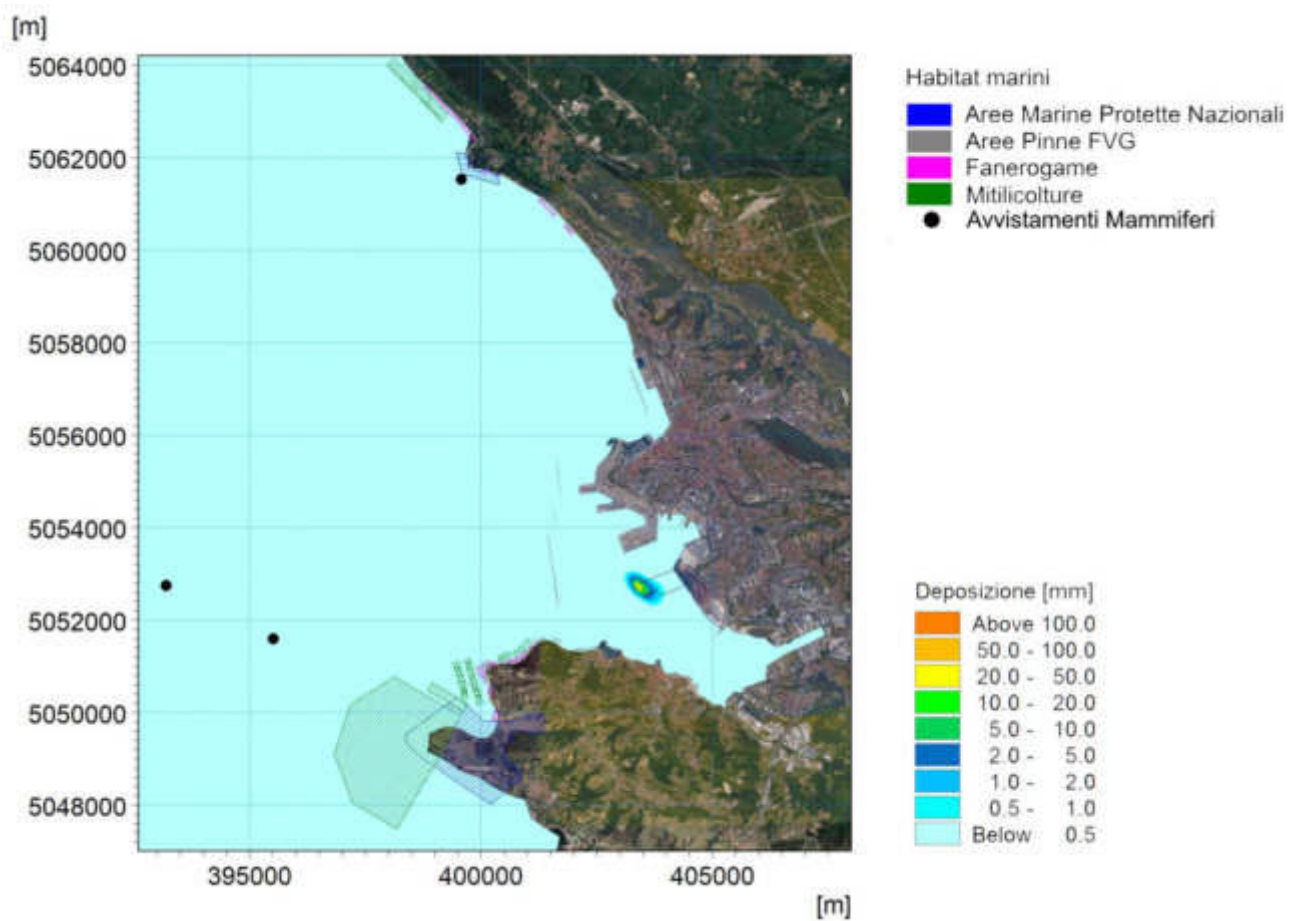


Figura 7 - Accumulo massimo del sedimento depositato [mm] a seguito della realizzazione dei pali in area P1 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi invernali



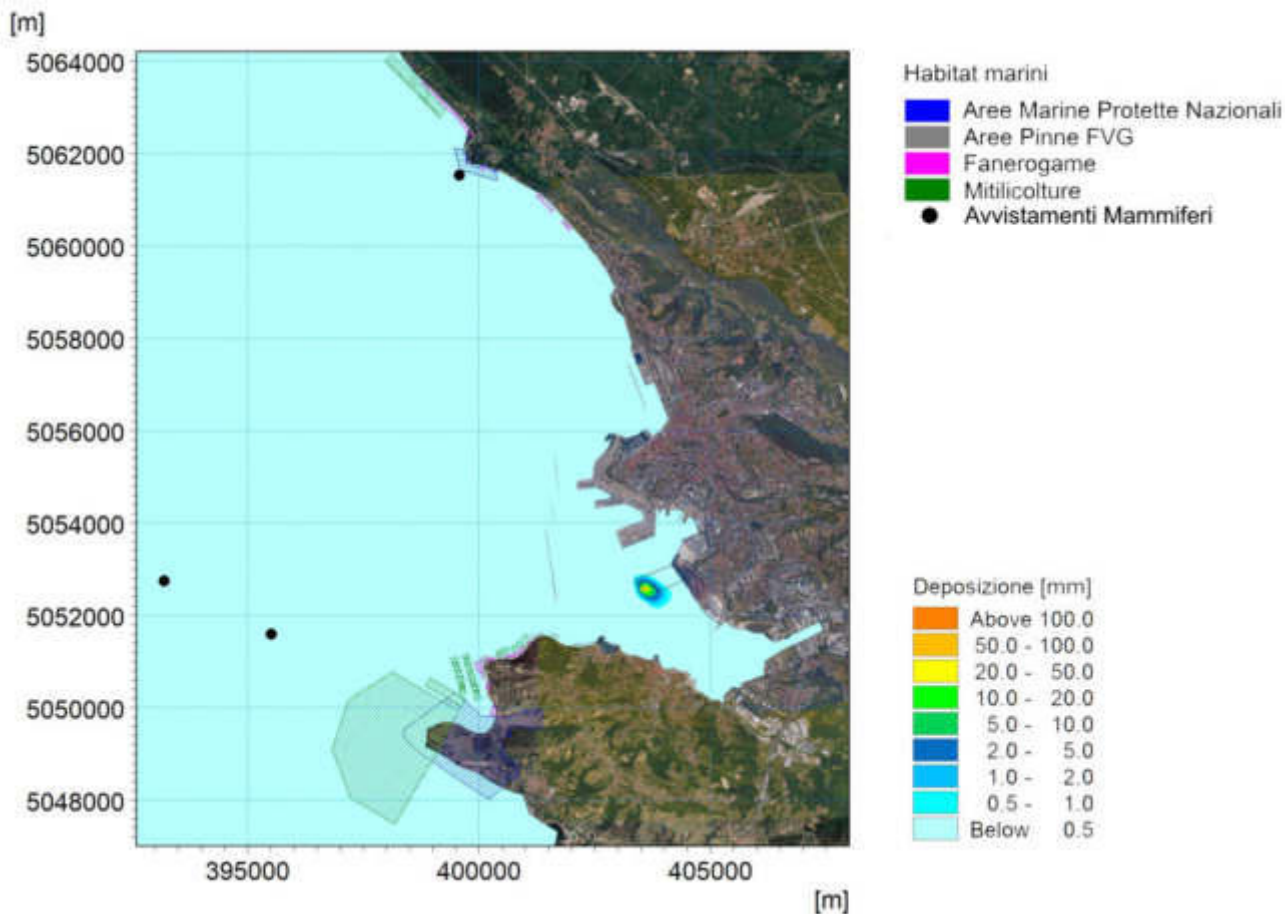


Figura 8 - Accumulo massimo del sedimento depositato [mm] a seguito della realizzazione dei pali in area P2 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi invernali

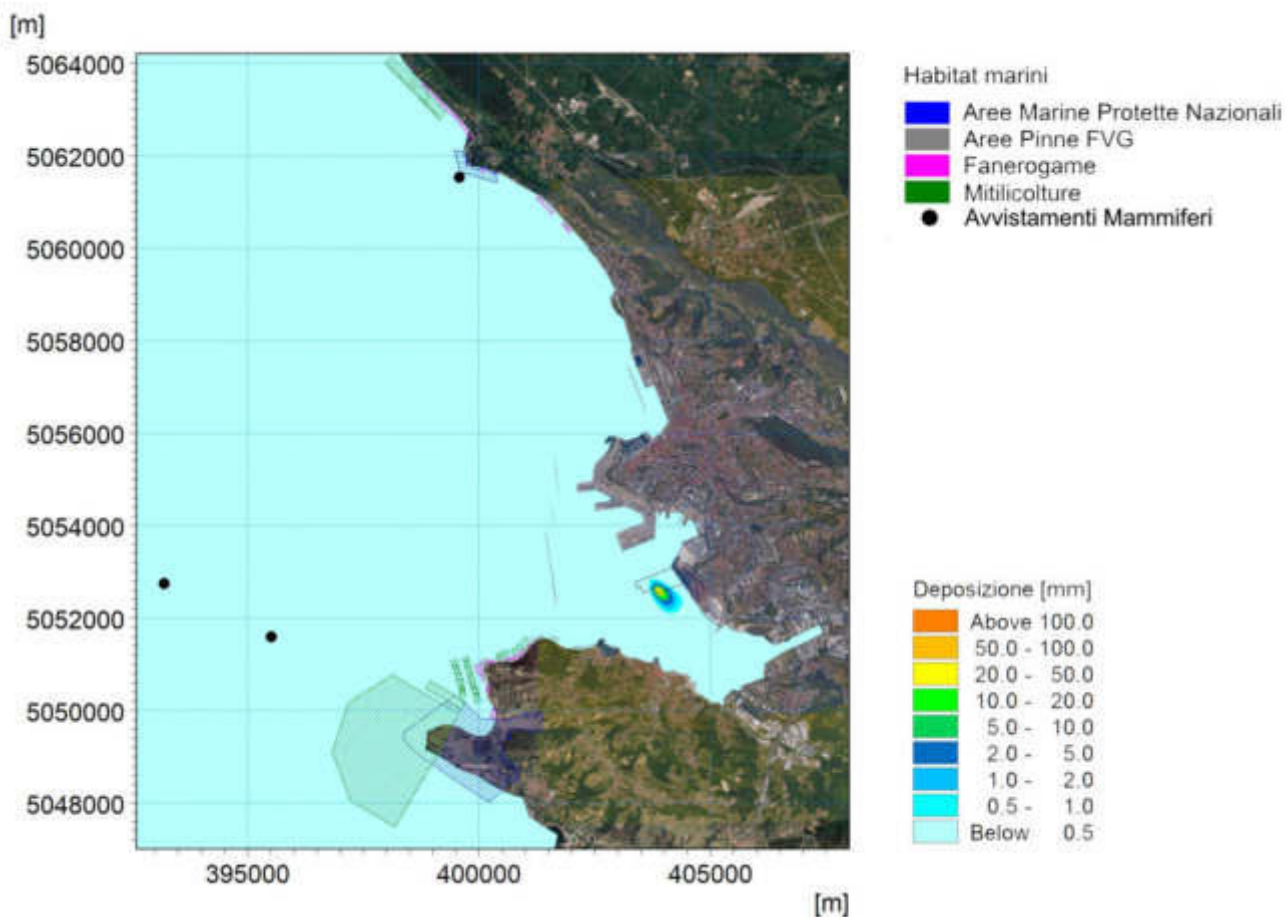


Figura 9 - Accumulo massimo del sedimento depositato [mm] a seguito della realizzazione dei pali in area P3 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi invernali

# CONDIZIONE PRIMAVERILE

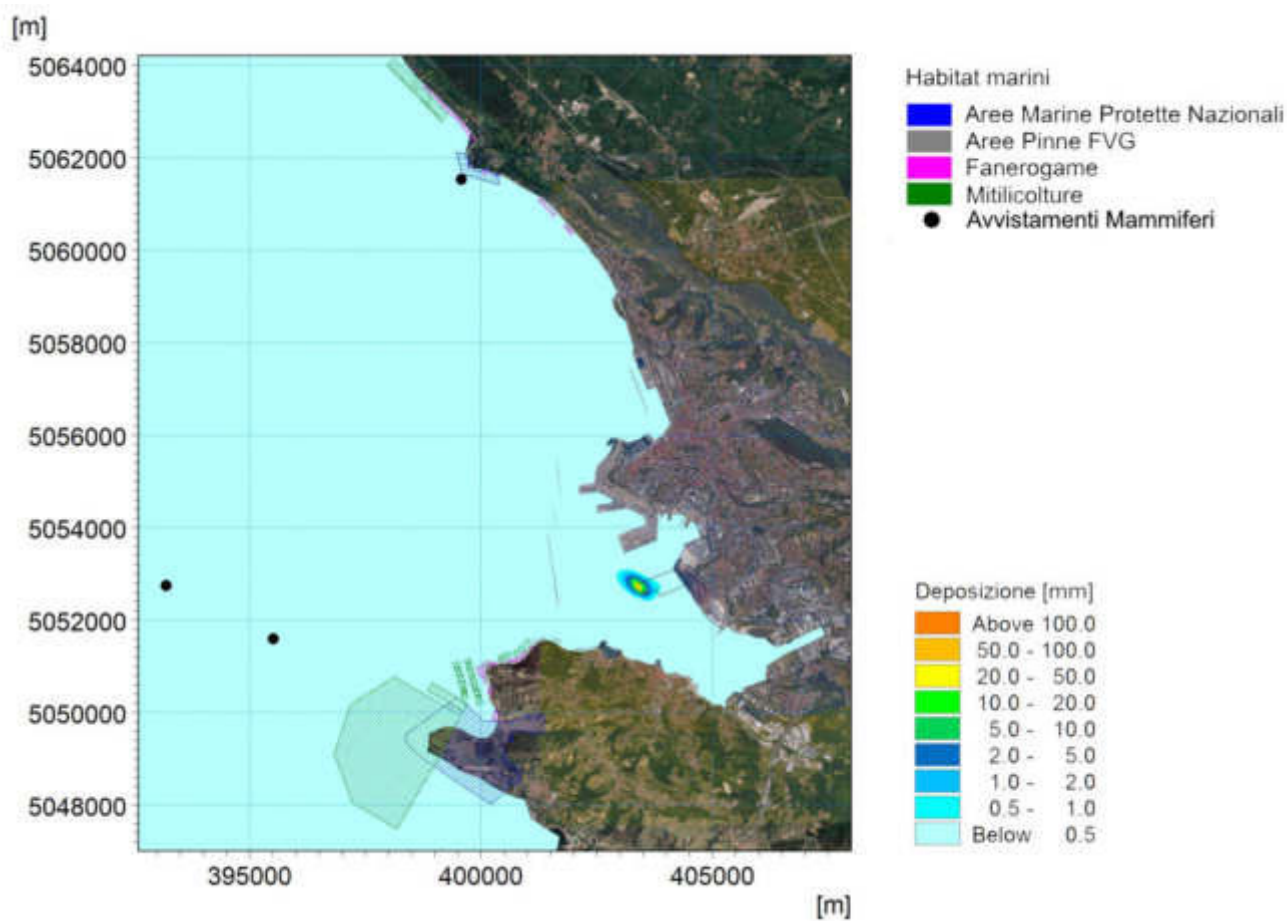


Figura 10 - Accumulo massimo del sedimento depositato [mm] a seguito della realizzazione dei pali in area P1 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi primaverili

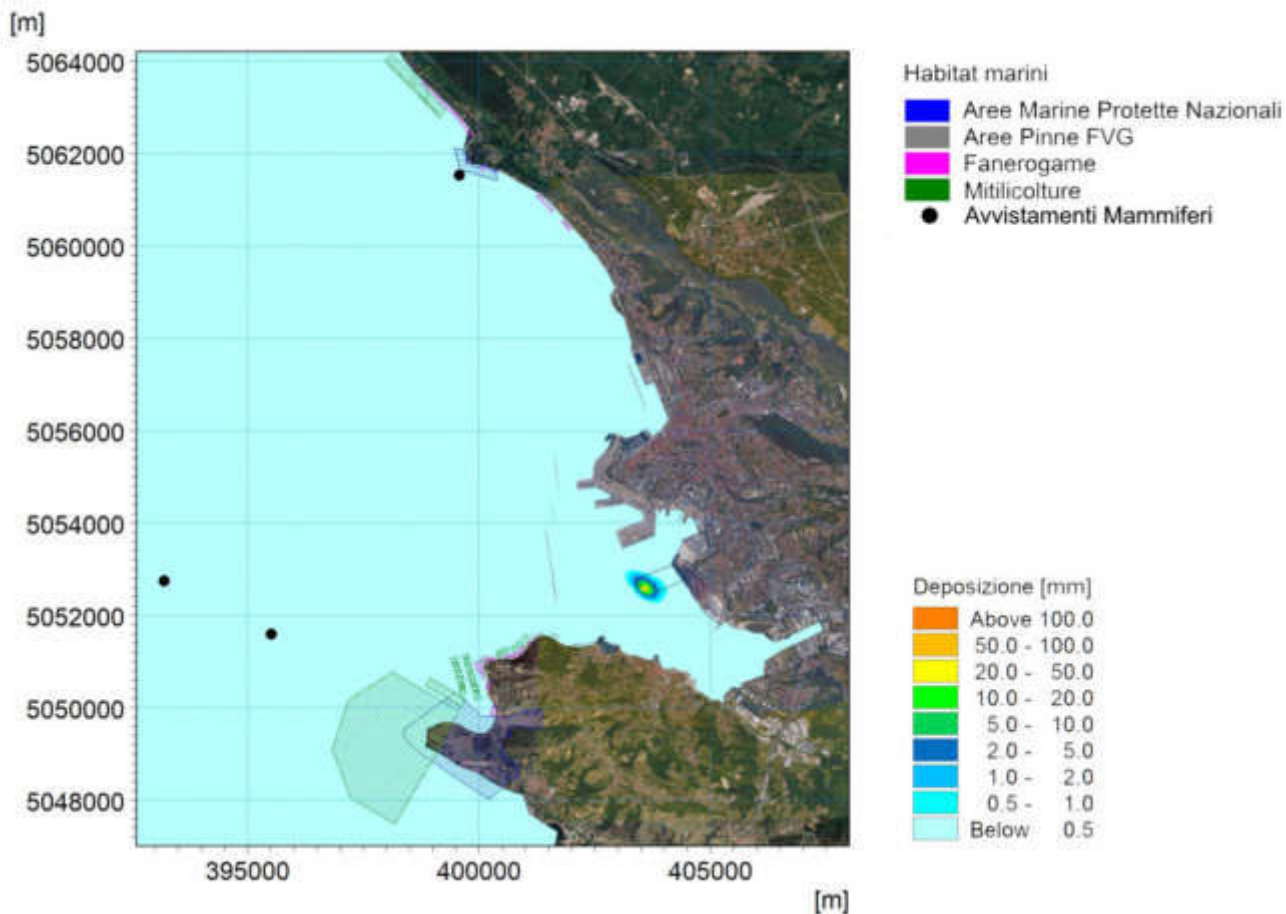


Figura 11 - Accumulo massimo del sedimento depositato [mm] a seguito della realizzazione dei pali in area P2 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi primaverili

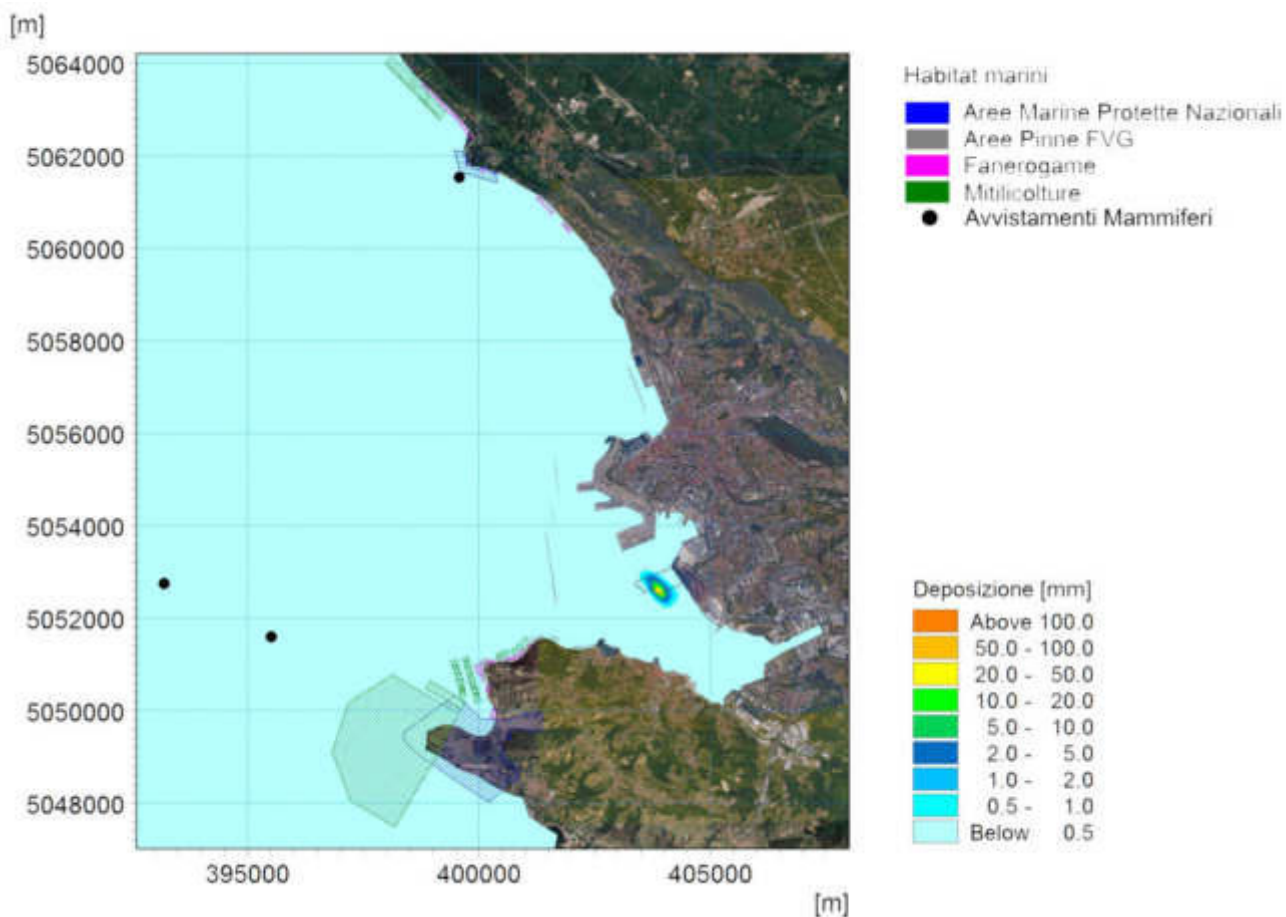


Figura 12 - Accumulo massimo del sedimento depositato [mm] a seguito della realizzazione dei pali in area P3 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi primaverili

# CONDIZIONE ESTIVA

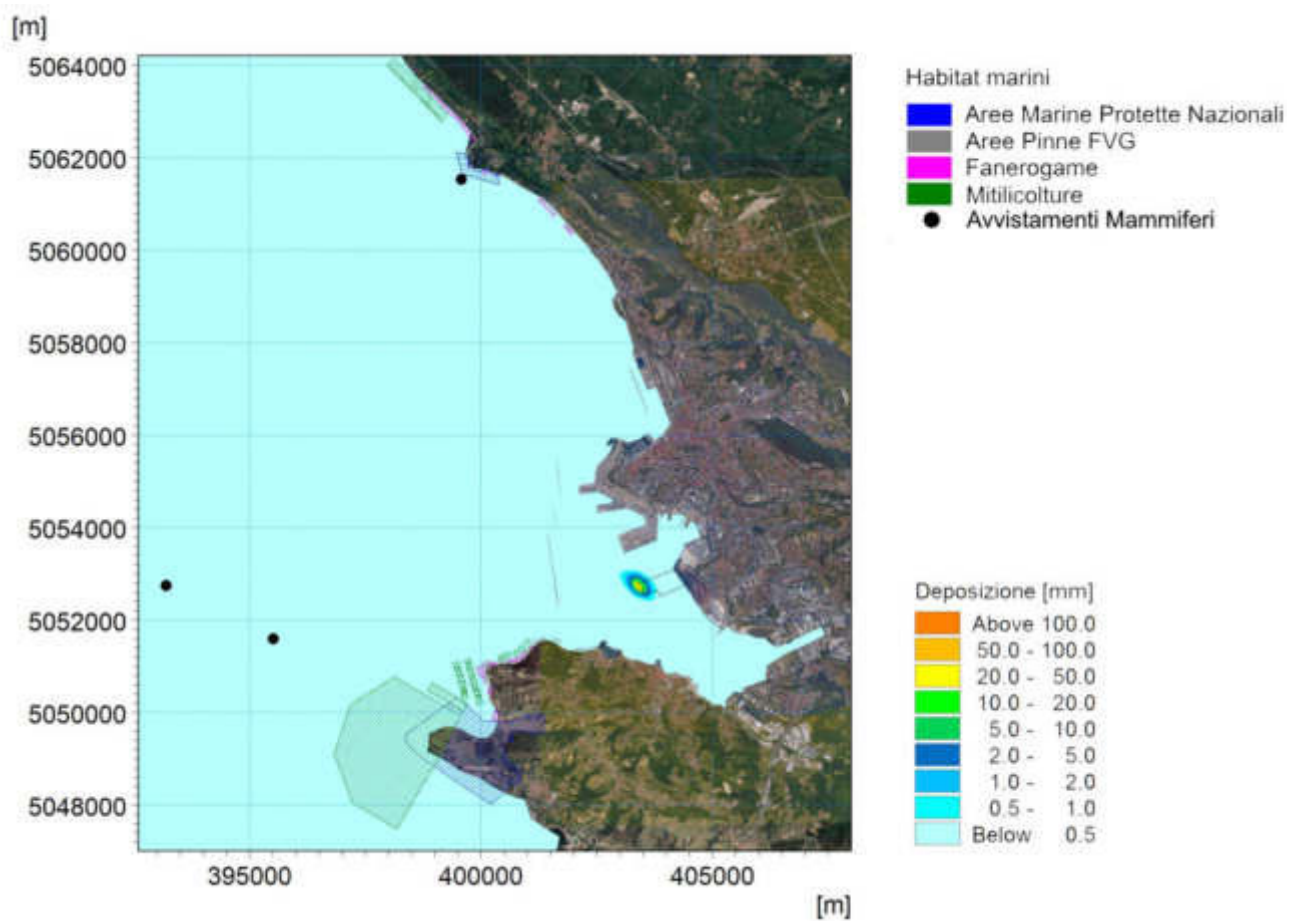


Figura 13 - Accumulo massimo del sedimento depositato [mm] a seguito della realizzazione dei pali in area P1 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi estivi

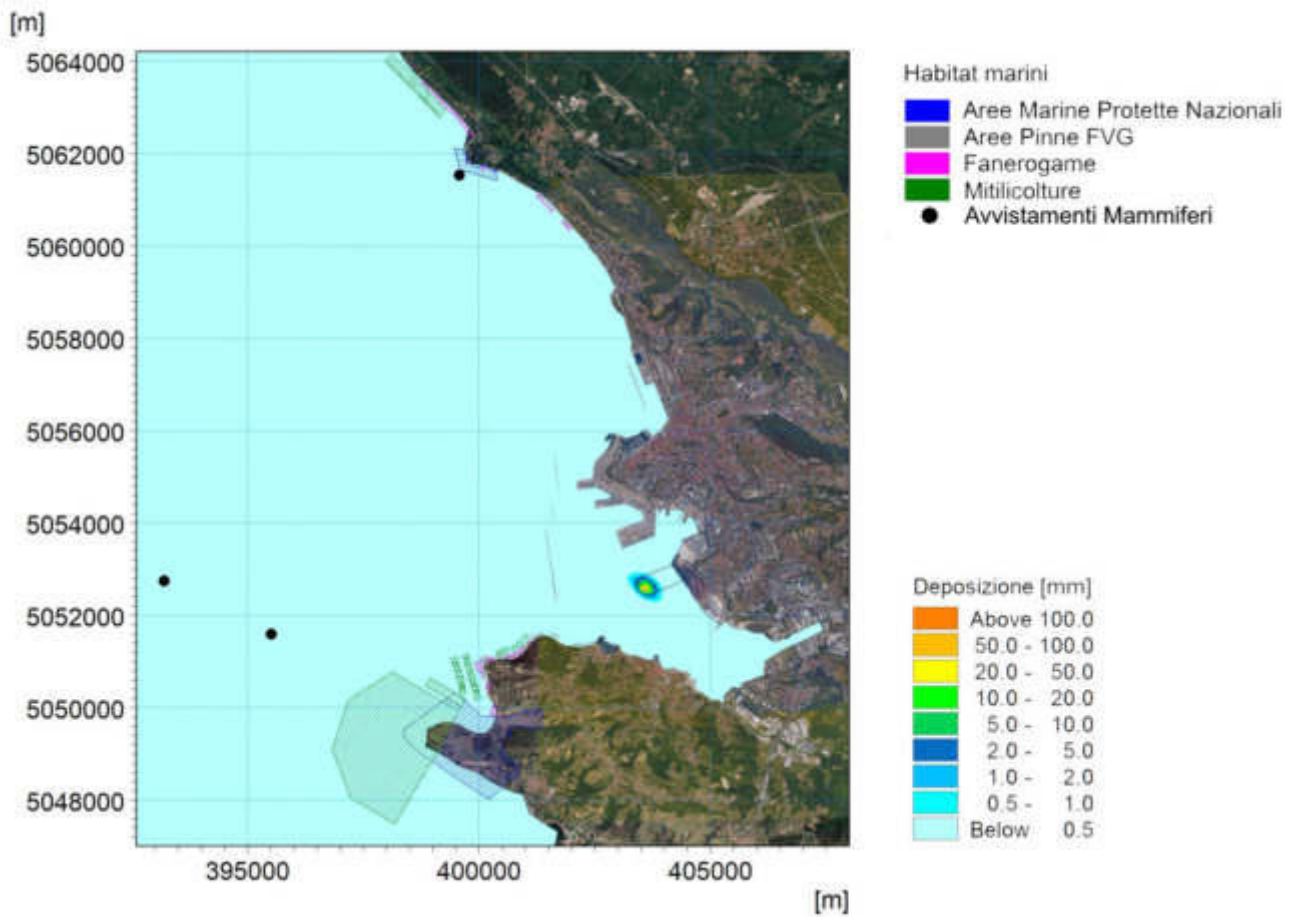


Figura 14 - Accumulo massimo del sedimento depositato [mm] a seguito della realizzazione dei pali in area P2 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi estivi

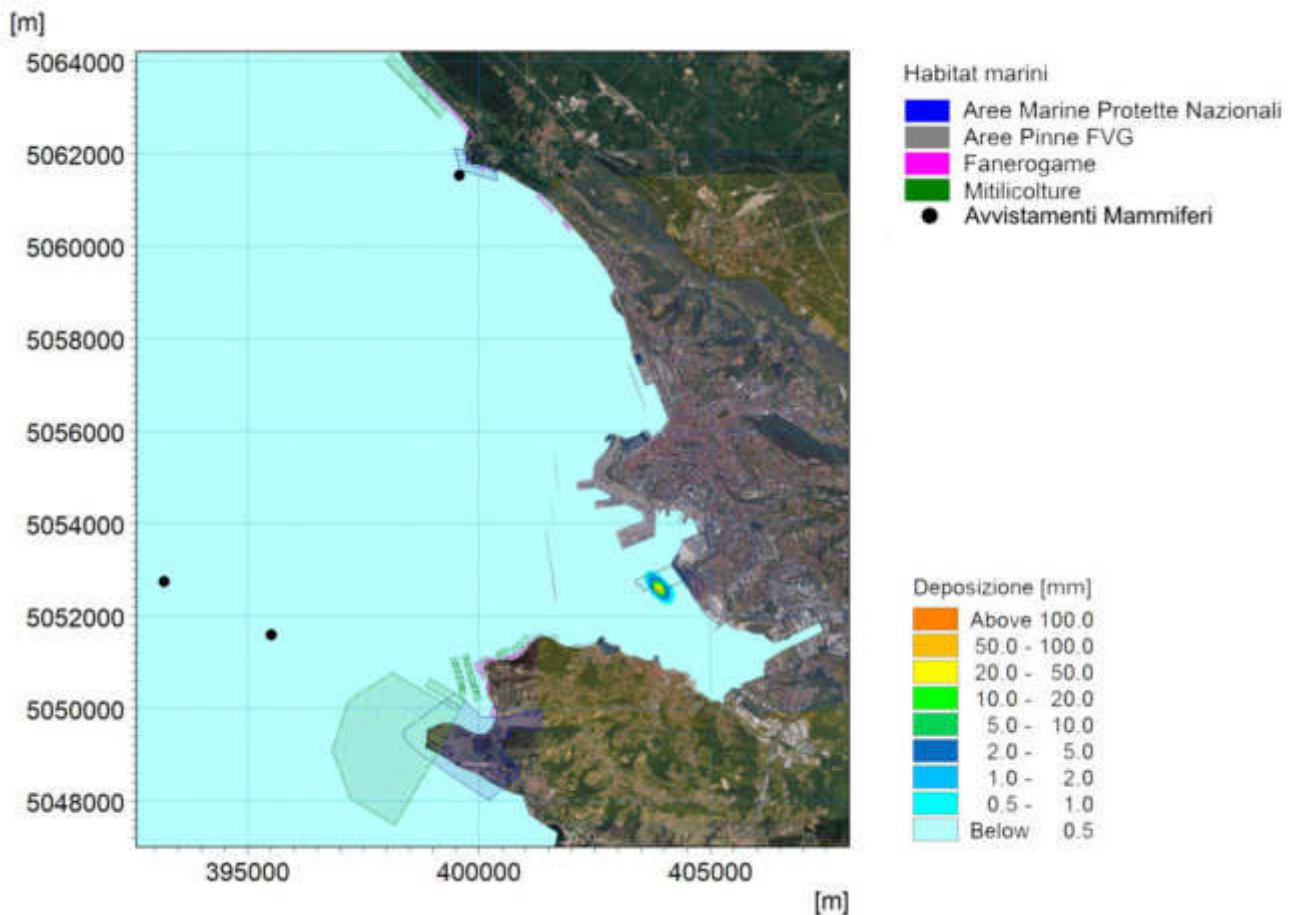


Figura 15 - Accumulo massimo del sedimento depositato [mm] a seguito della realizzazione dei pali in area P3 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi estivi

# MASSIMI DI CONCENTRAZIONE DEL SEDIMENTO IN SOSPENSIONE DA REALIZZAZIONE PALI

Mappe rappresentative dei massimi di concentrazione (in superficie, a meta' colonna e al fondo) di sedimento, ottenuto come media dei massimi ottenuti per ciascuna simulazione; le mappe fanno riferimento all'intero anno e alle singole stagioni

## CONDIZIONE ANNUALE

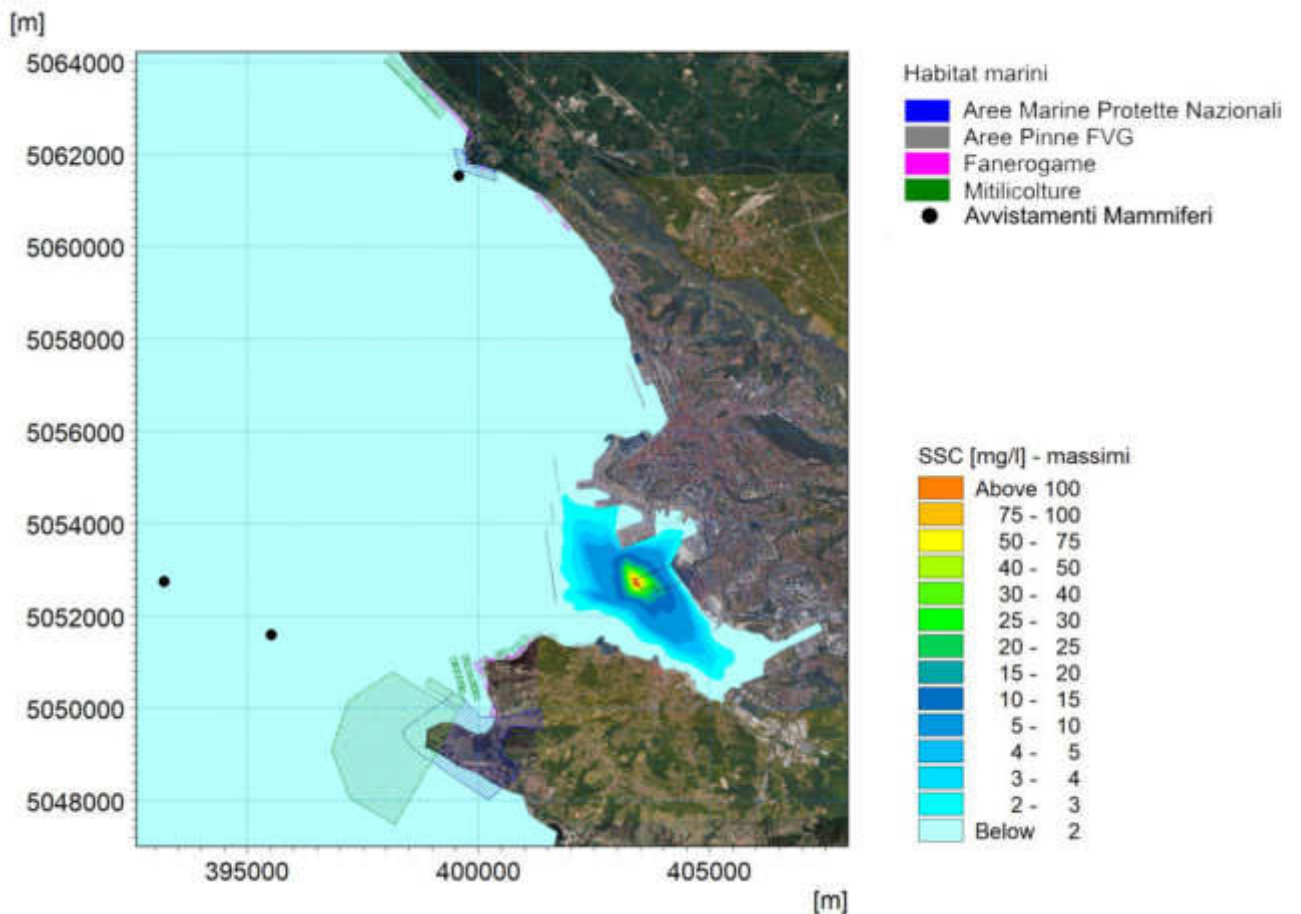


Figura 16 - Massimi di concentrazione in superficie [mg/l] a seguito della realizzazione dei pali in area P1 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate

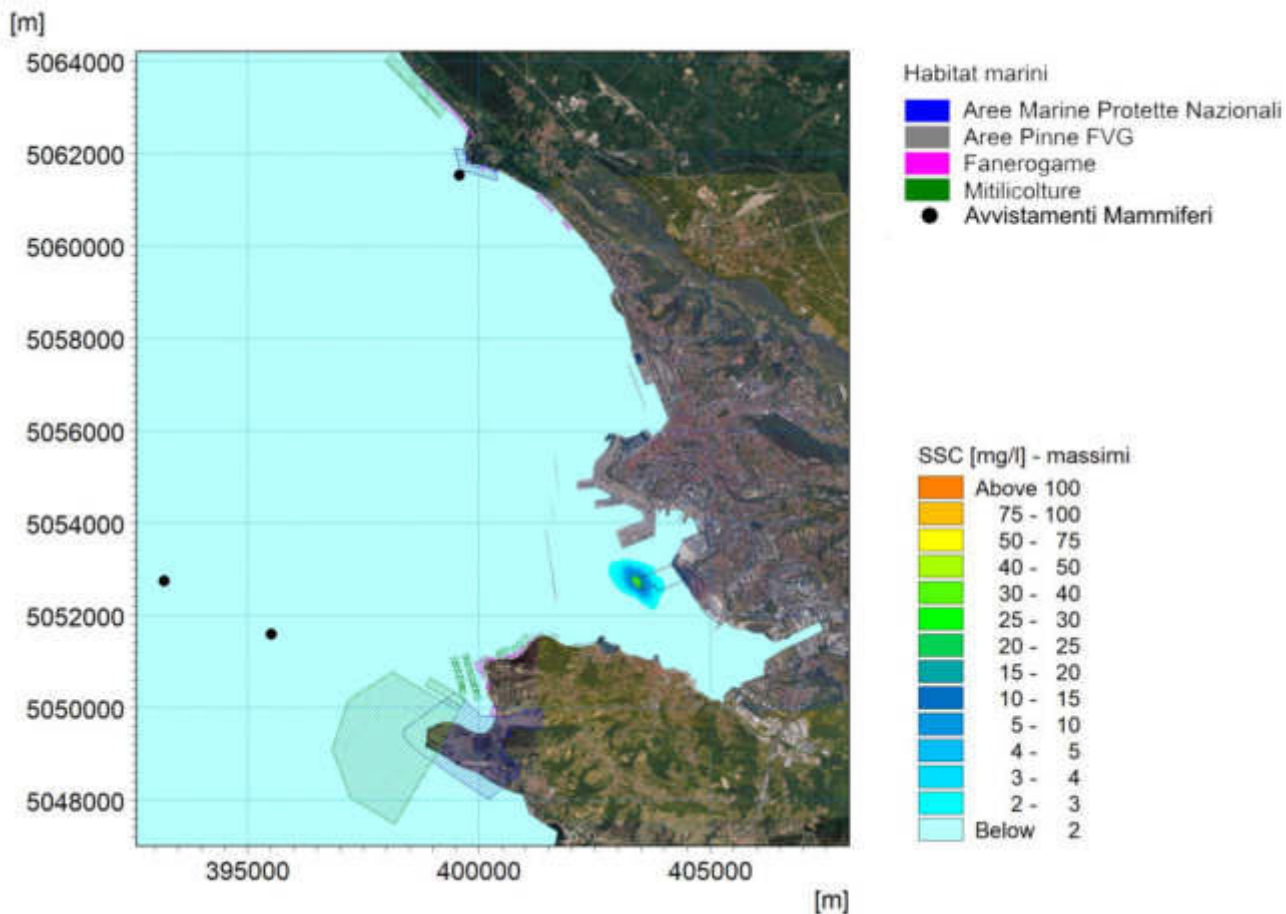


Figura 17 - Massimi di concentrazione a meta' colonna d'acqua [mg/l] a seguito della realizzazione dei pali in area P1 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate

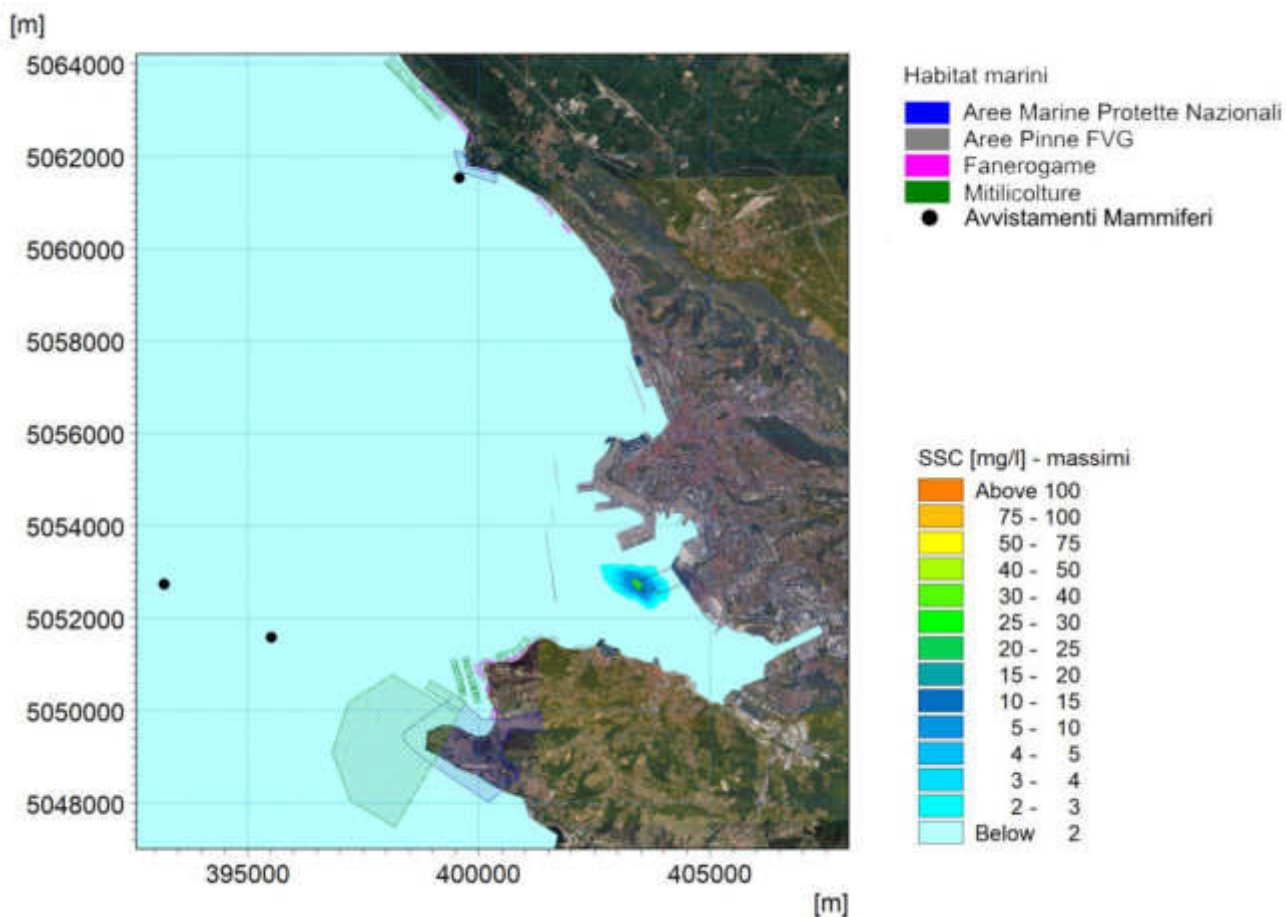


Figura 18 - Massimi di concentrazione al fondo [mg/l] a seguito della realizzazione dei pali in area P1 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate

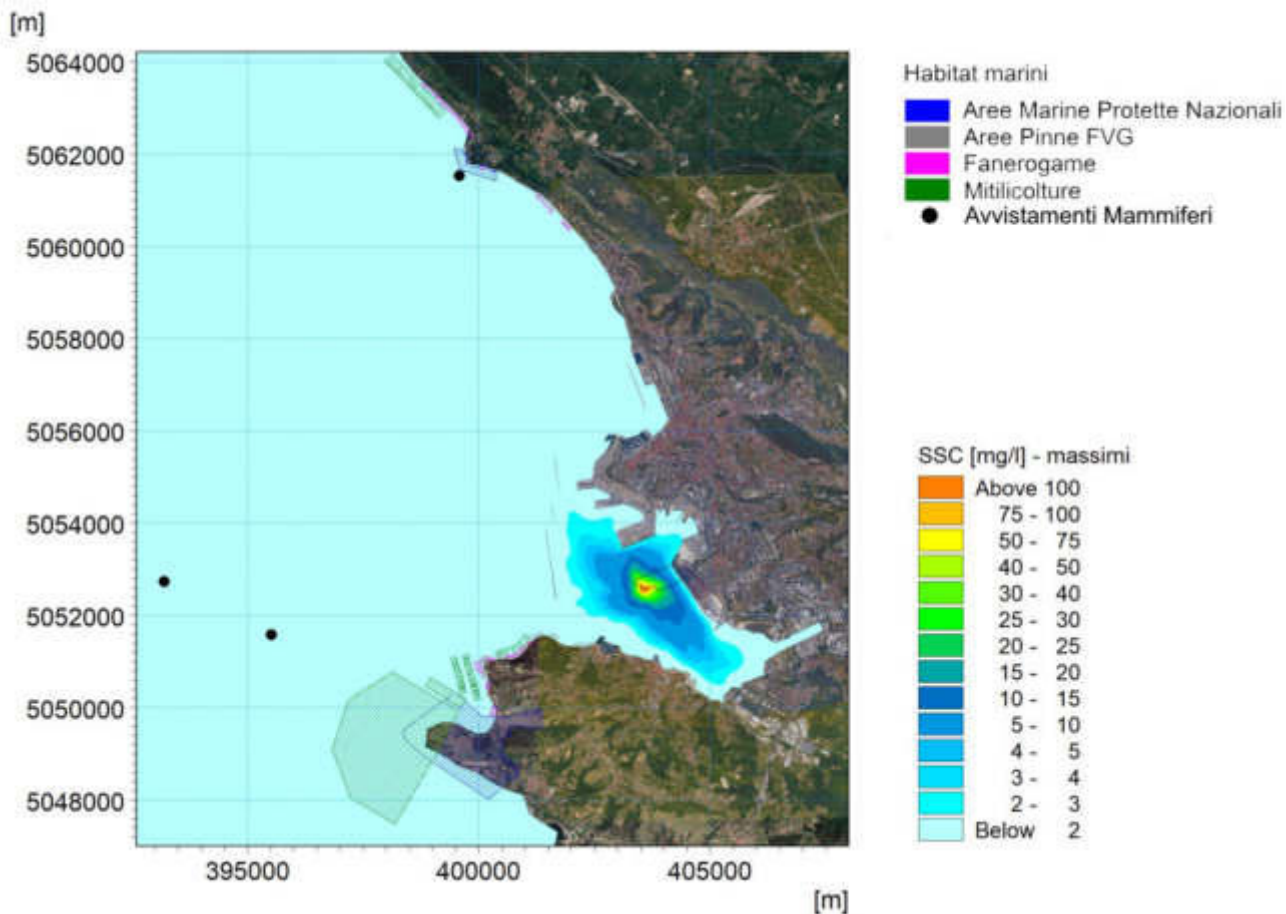


Figura 19 - Massimi di concentrazione in superficie [mg/l] a seguito della realizzazione dei pali in area P2 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate

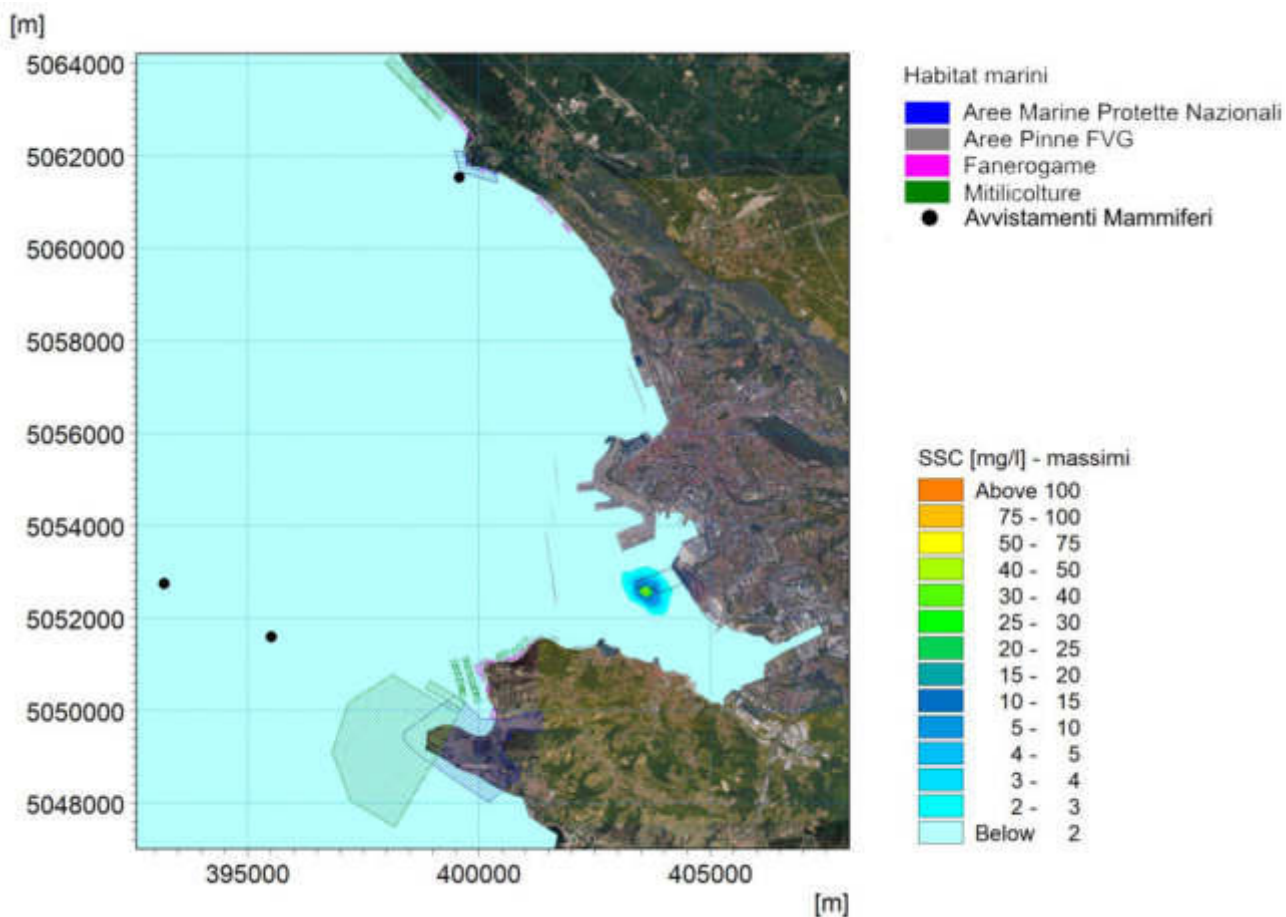


Figura 20 - Massimi di concentrazione a meta' colonna d'acqua [mg/l] a seguito della realizzazione dei pali in area P2 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate



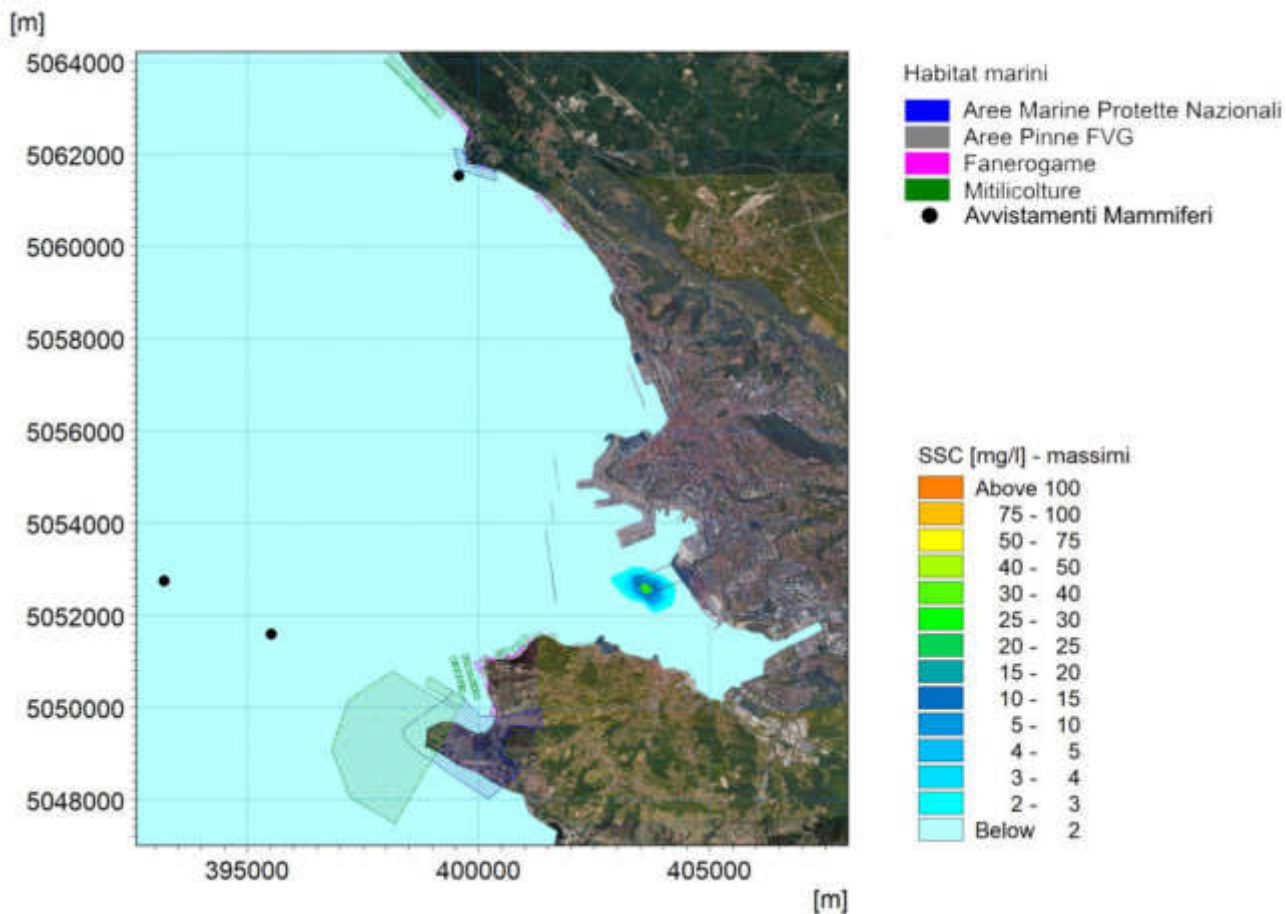


Figura 21 - Massimi di concentrazione al fondo [mg/l] a seguito della realizzazione dei pali in area P2 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate

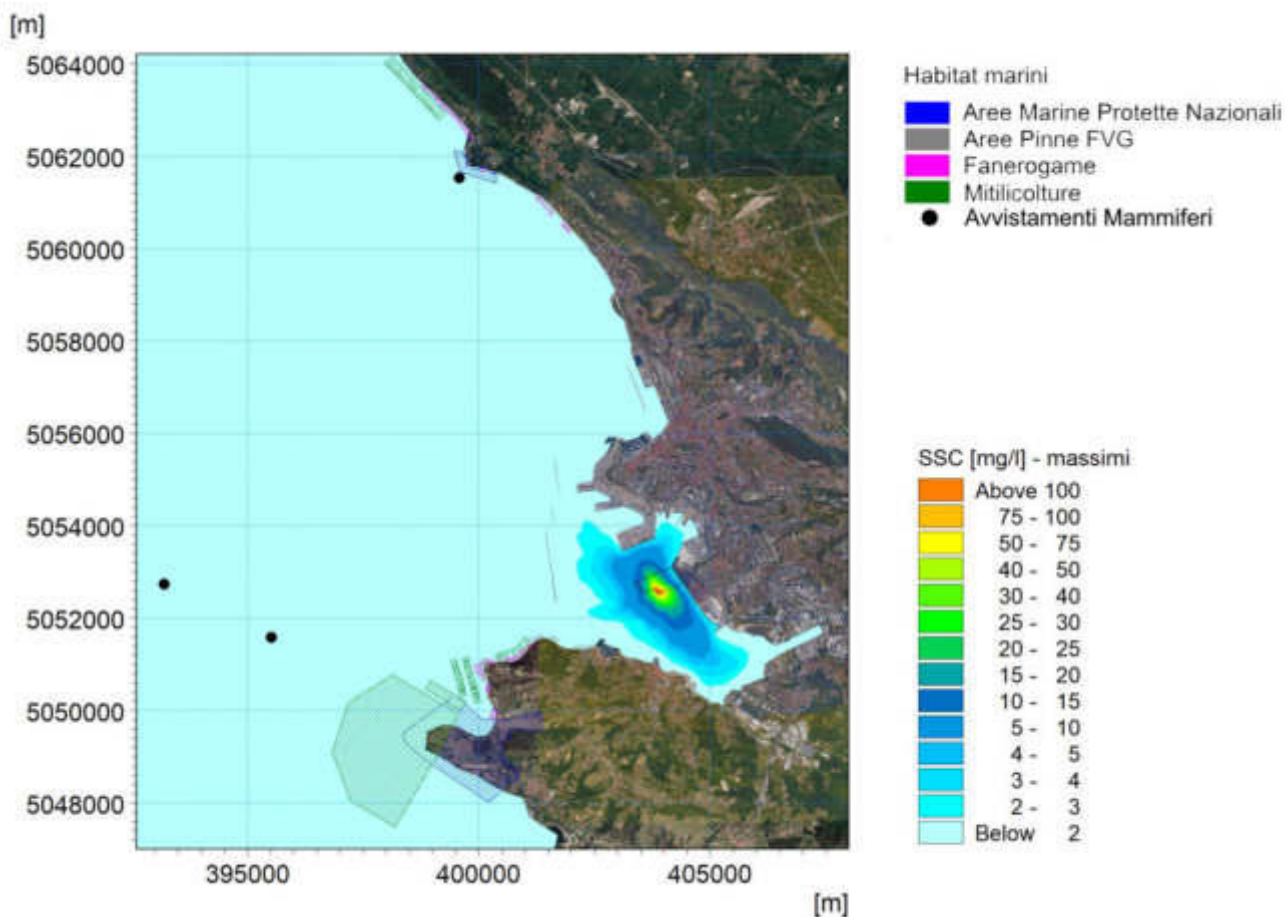


Figura 22 - Massimi di concentrazione in superficie [mg/l] a seguito della realizzazione dei pali in area P3 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate

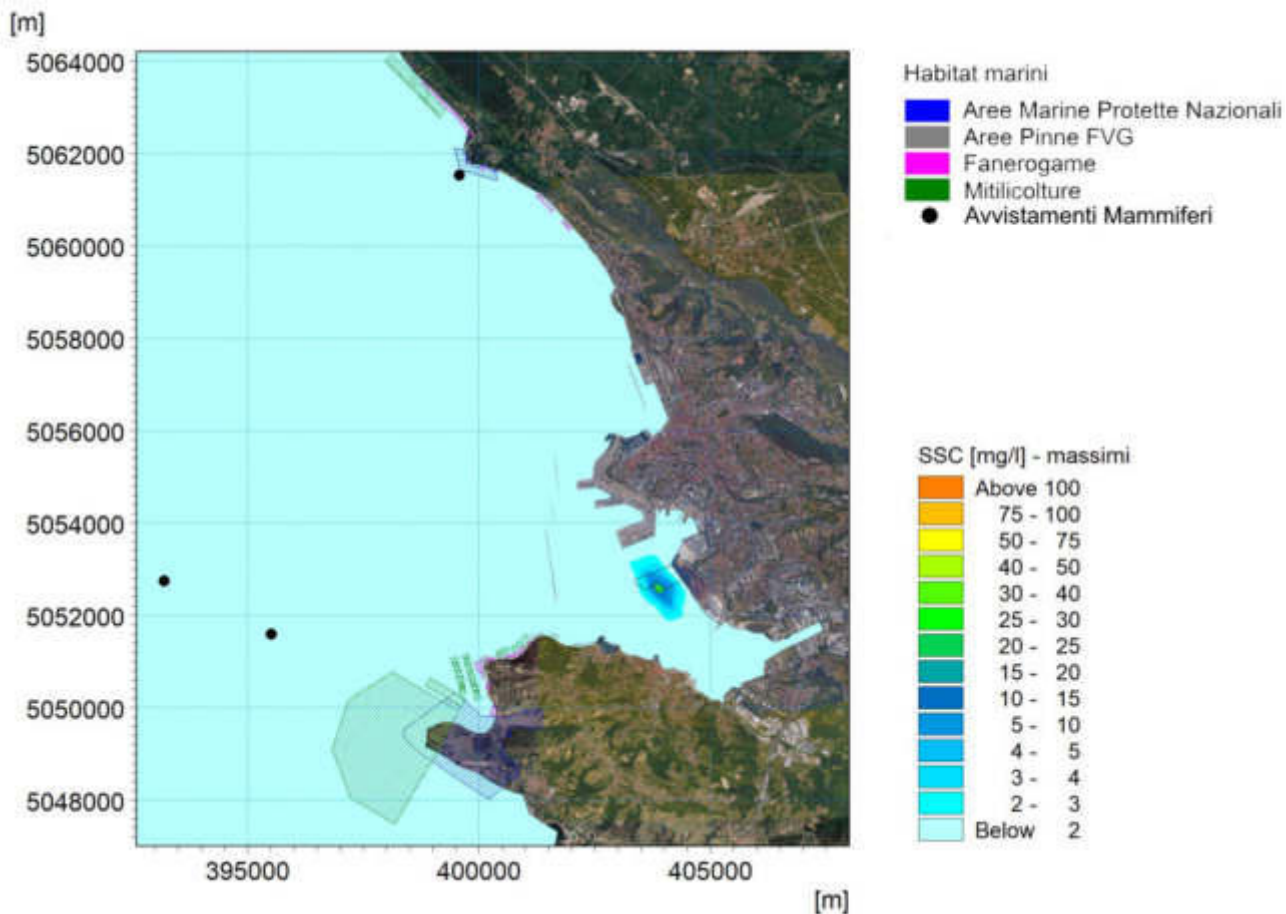


Figura 23 - Massimi di concentrazione a meta' colonna d'acqua [mg/l] a seguito della realizzazione dei pali in area P3 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate

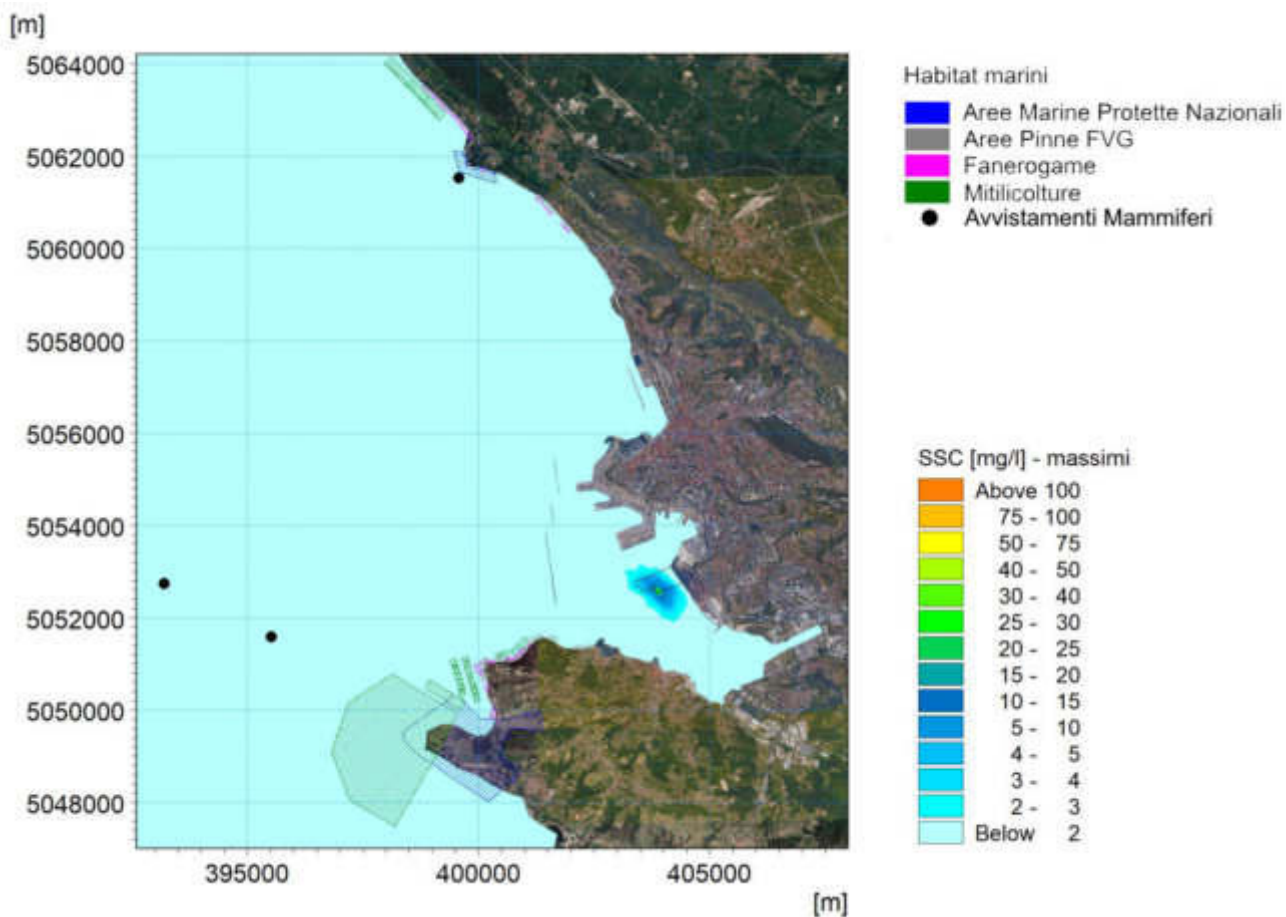


Figura 24 - Massimi di concentrazione al fondo [mg/l] a seguito della realizzazione dei pali in area P3 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate

# CONDIZIONE AUTUNNALE

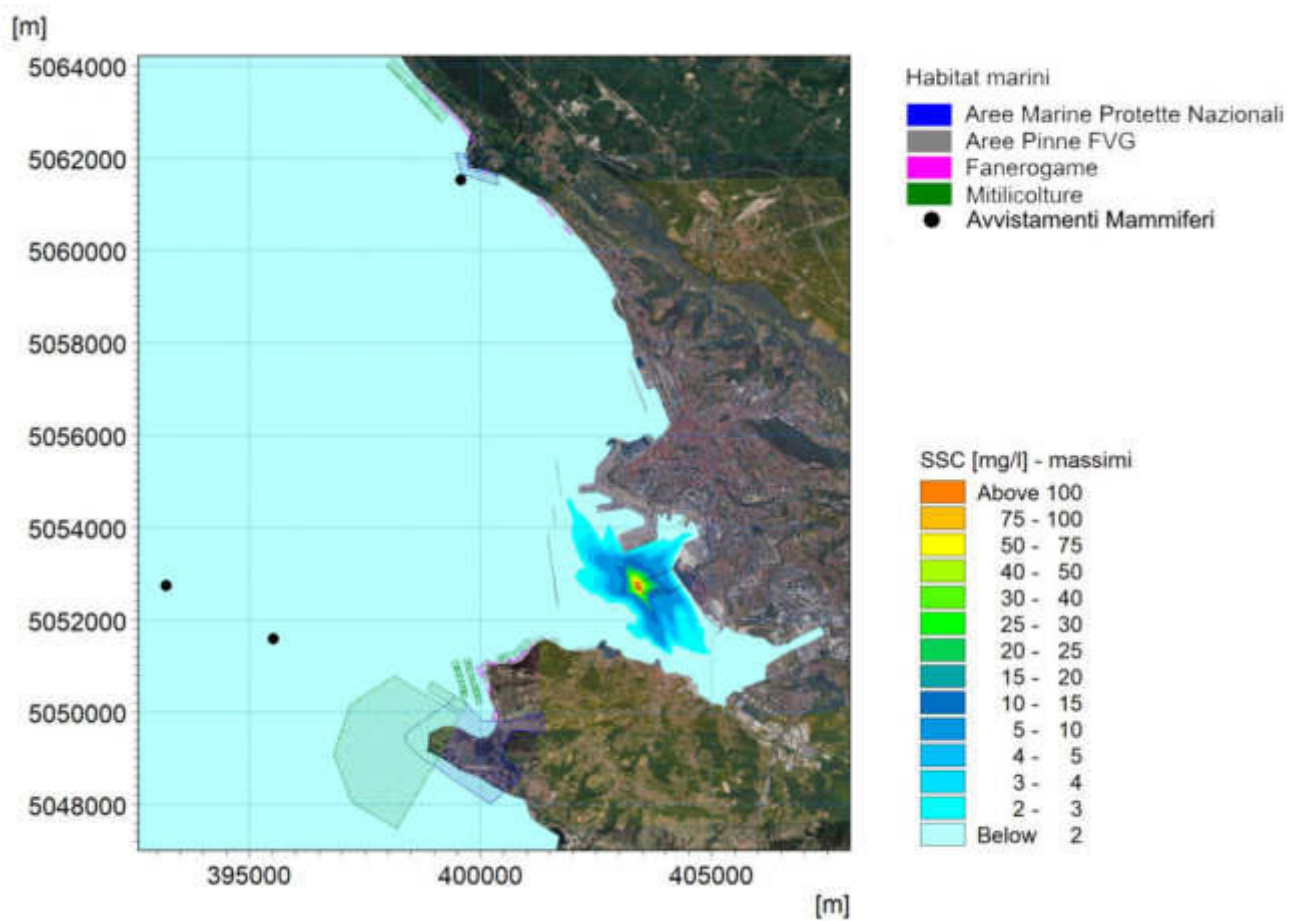


Figura 25 - Massimi di concentrazione in superficie [mg/l] a seguito della realizzazione dei pali in area P1 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi autunnali

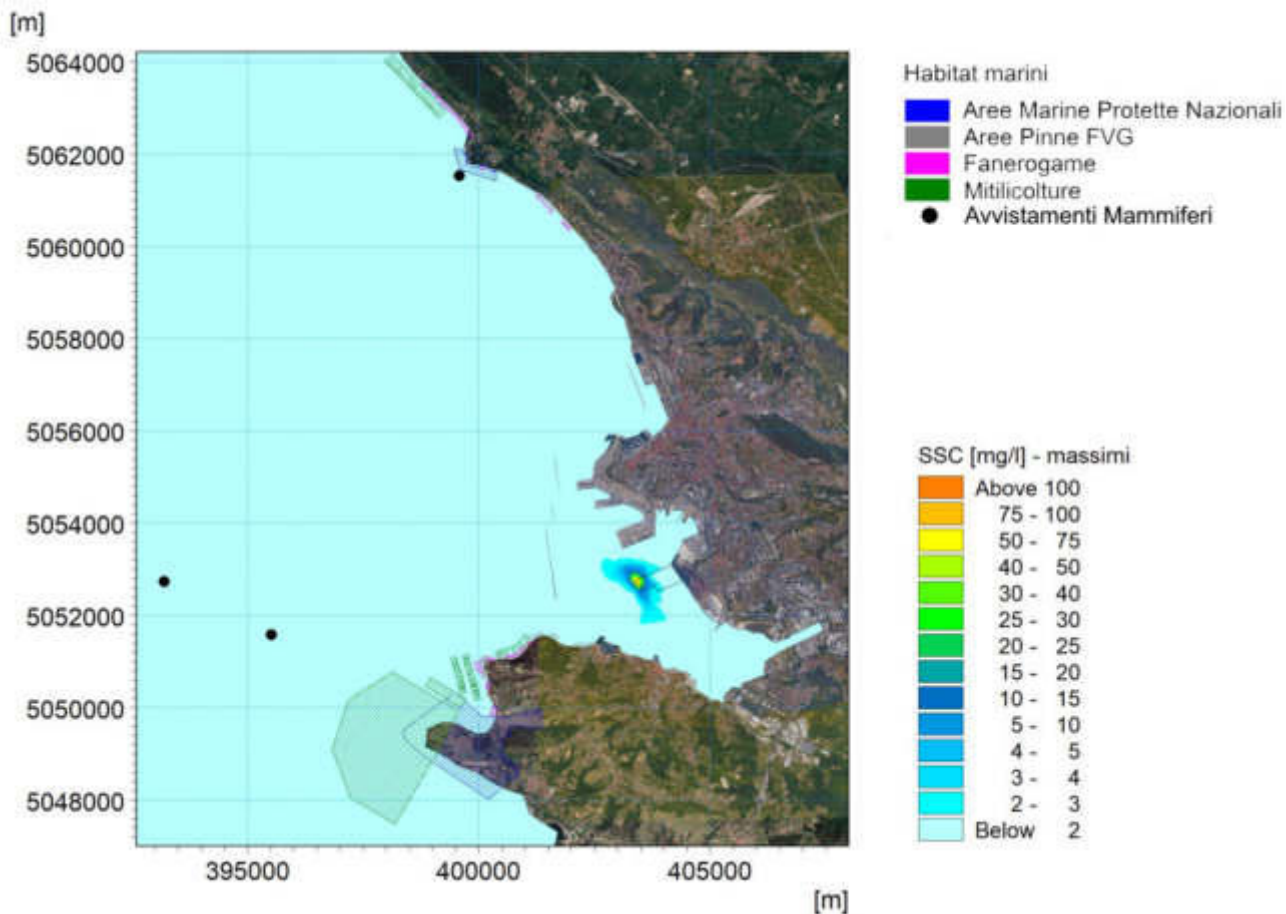


Figura 26 - Massimi di concentrazione a meta' colonna d'acqua [mg/l] a seguito della realizzazione dei pali in area P1 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi autunnali

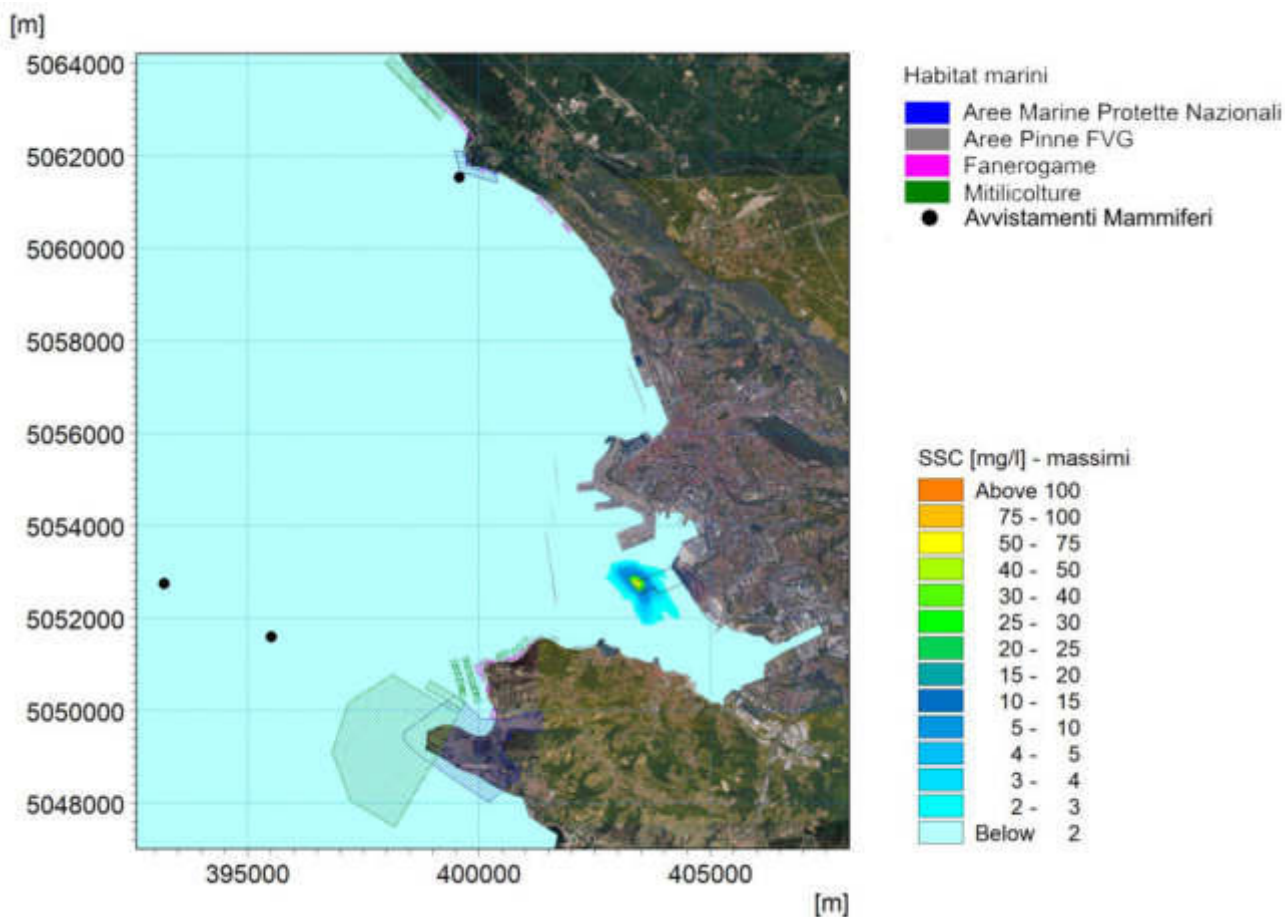


Figura 27 - Massimi di concentrazione al fondo [mg/l] a seguito della realizzazione dei pali in area P1 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi autunnali

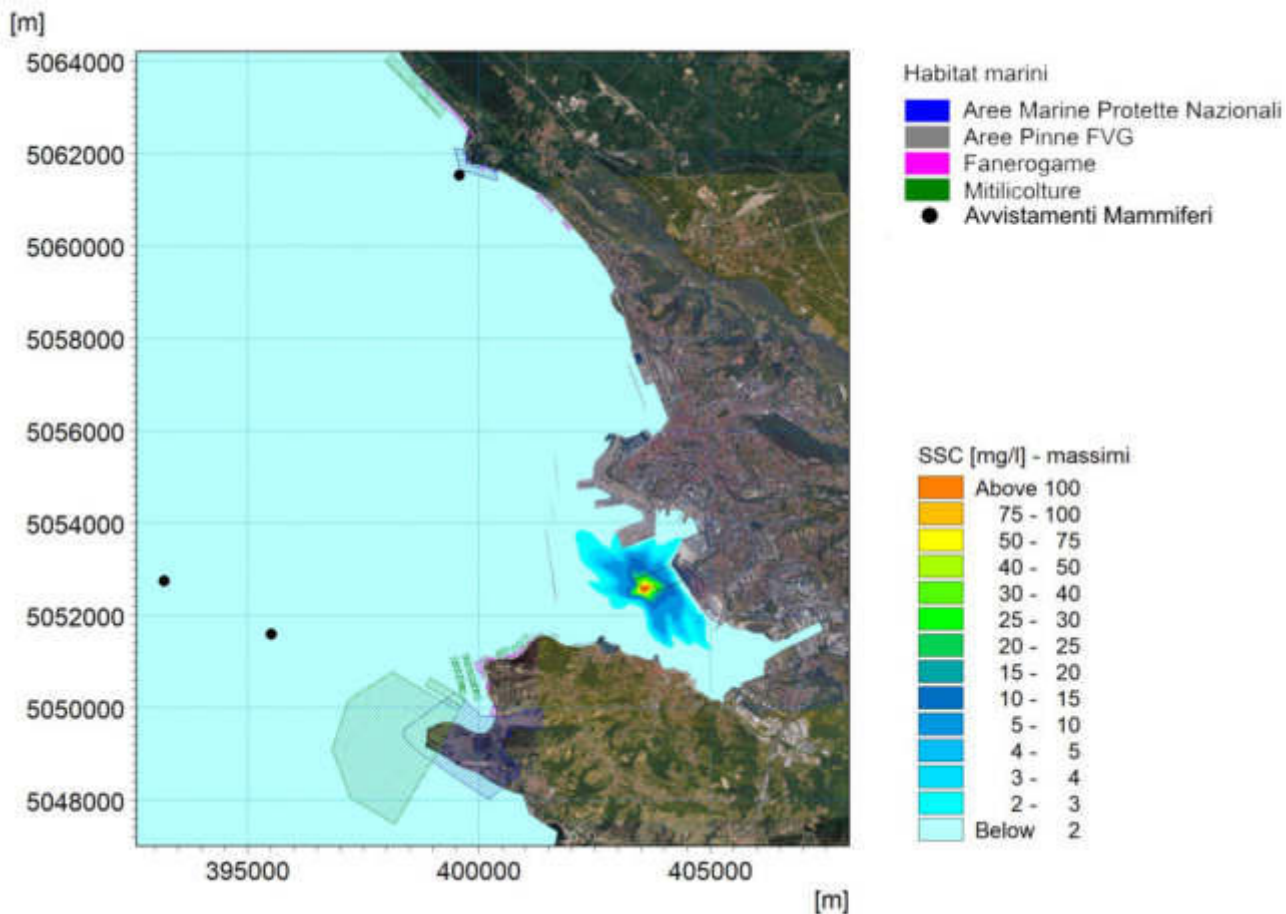


Figura 28 - Massimi di concentrazione in superficie [mg/l] a seguito della realizzazione dei pali in area P2 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi autunnali

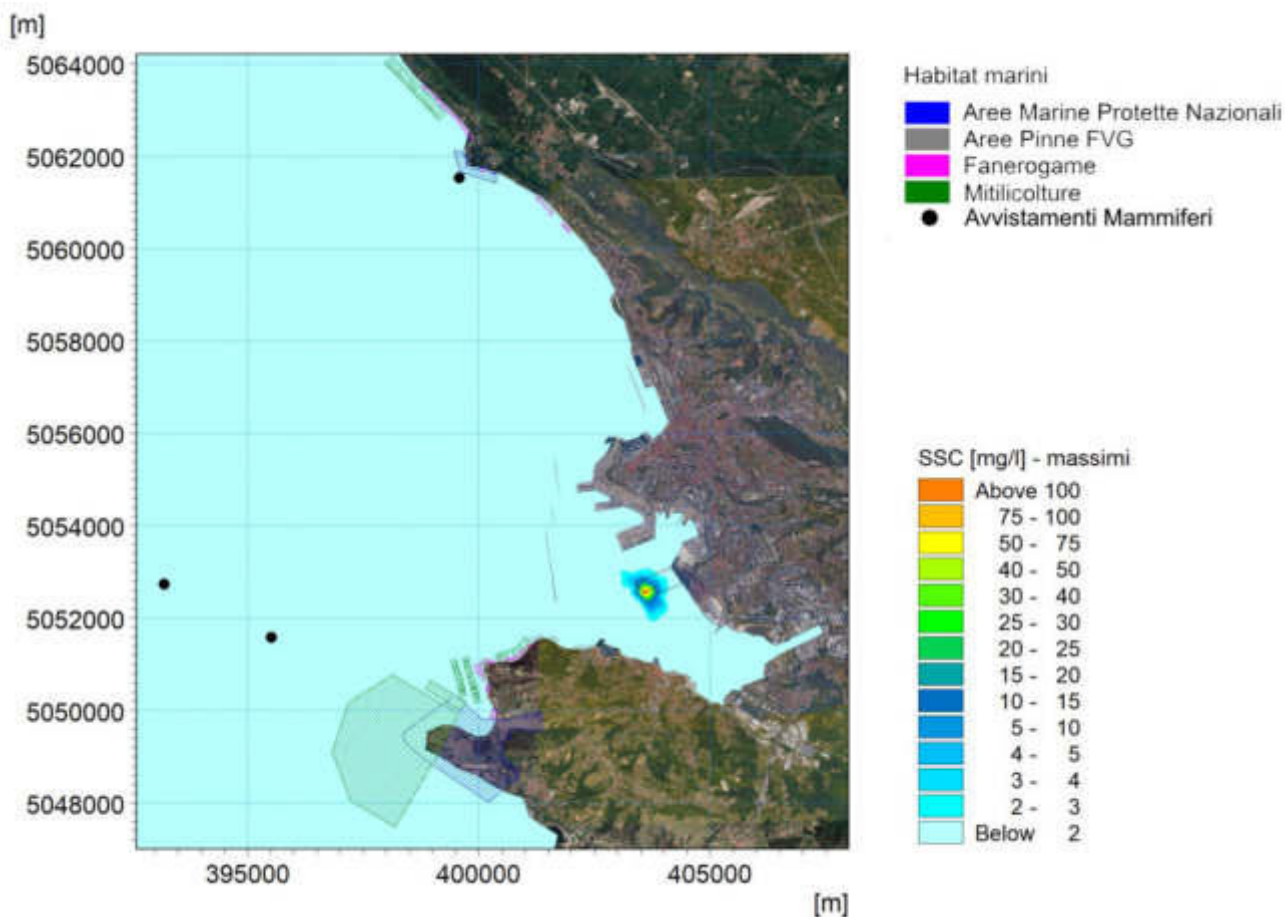


Figura 29 - Massimi di concentrazione a meta' colonna d'acqua [mg/l] a seguito della realizzazione dei pali in area P2 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi autunnali

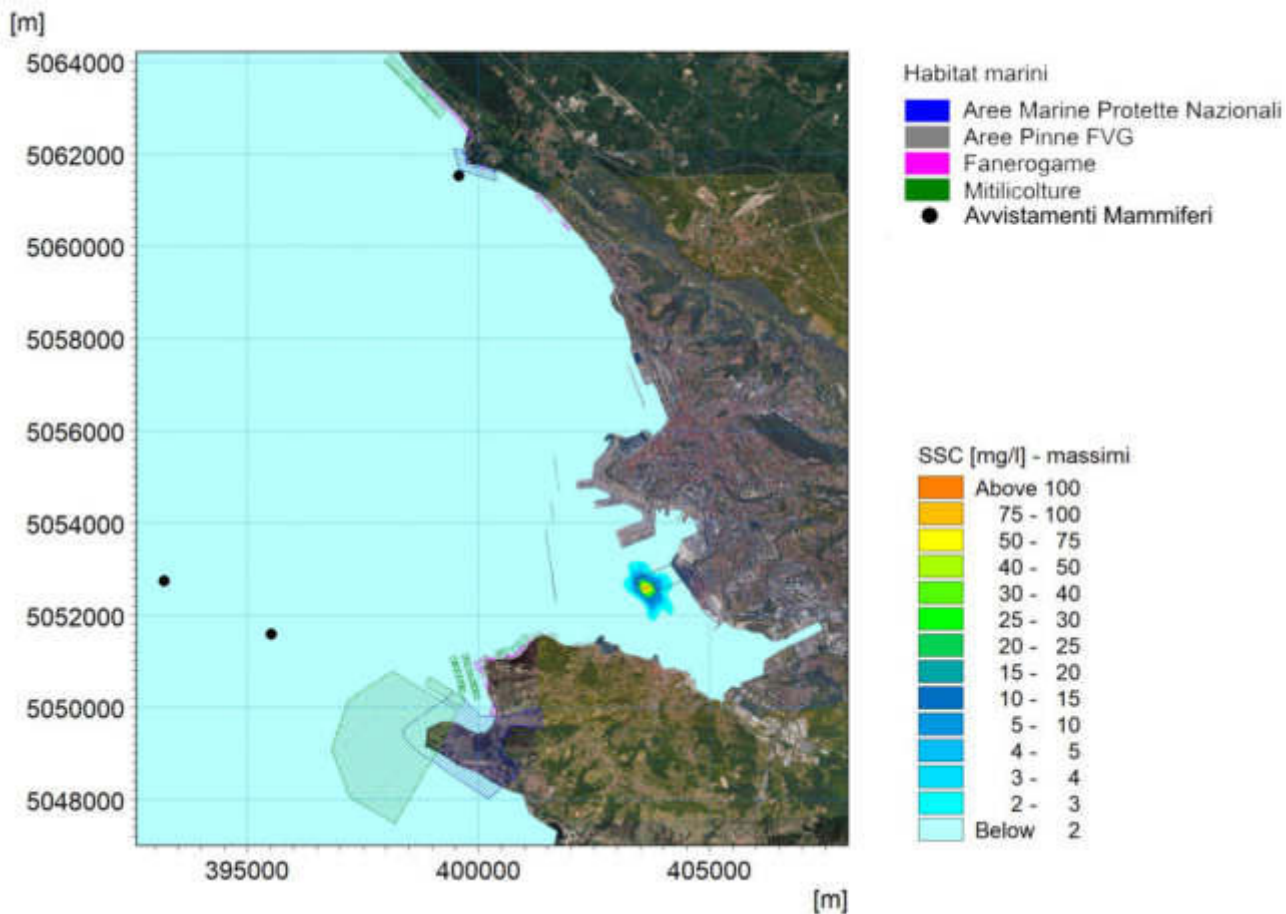


Figura 30 - Massimi di concentrazione al fondo [mg/l] a seguito della realizzazione dei pali in area P2 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi autunnali

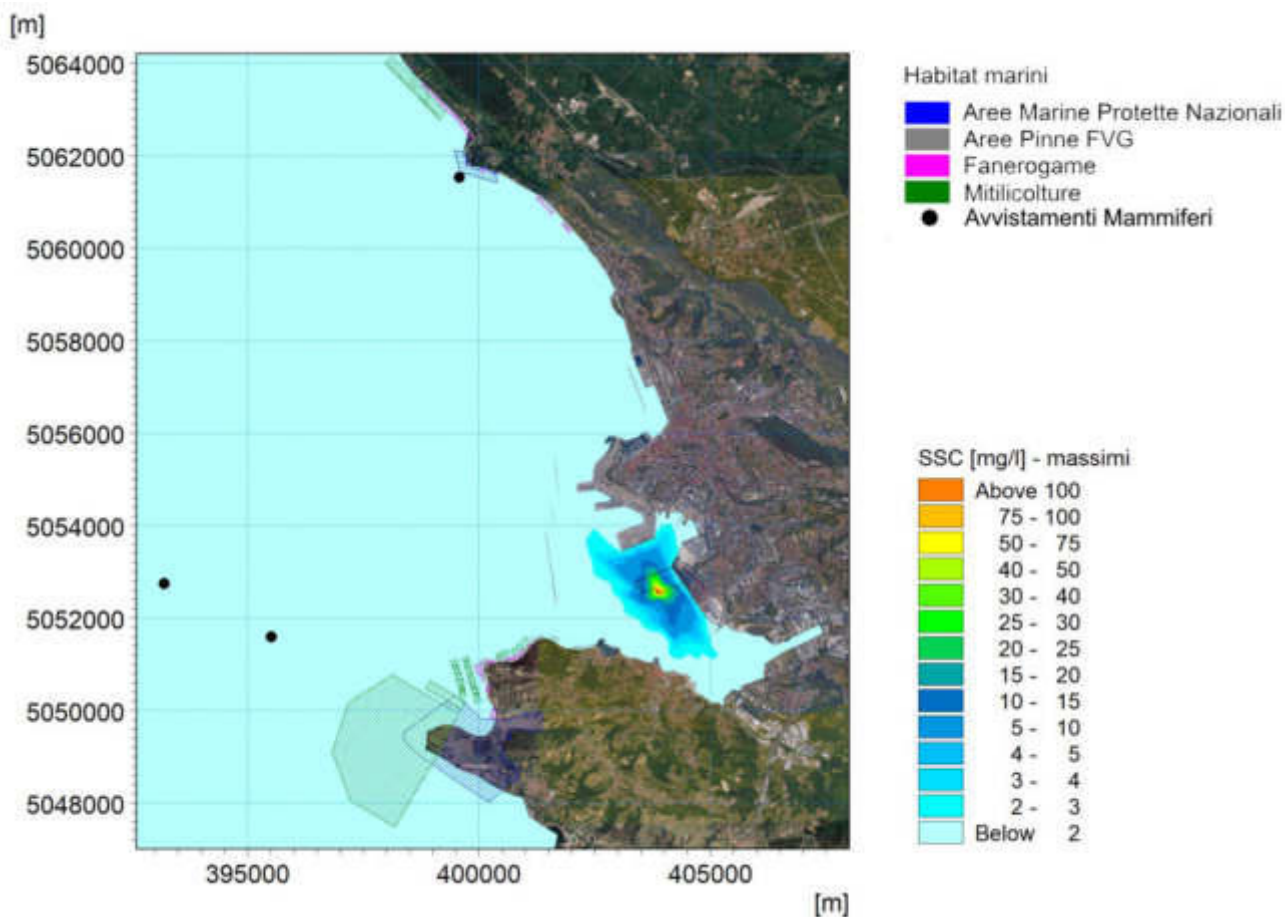


Figura 31 - Massimi di concentrazione in superficie [mg/l] a seguito della realizzazione dei pali in area P3 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi autunnali

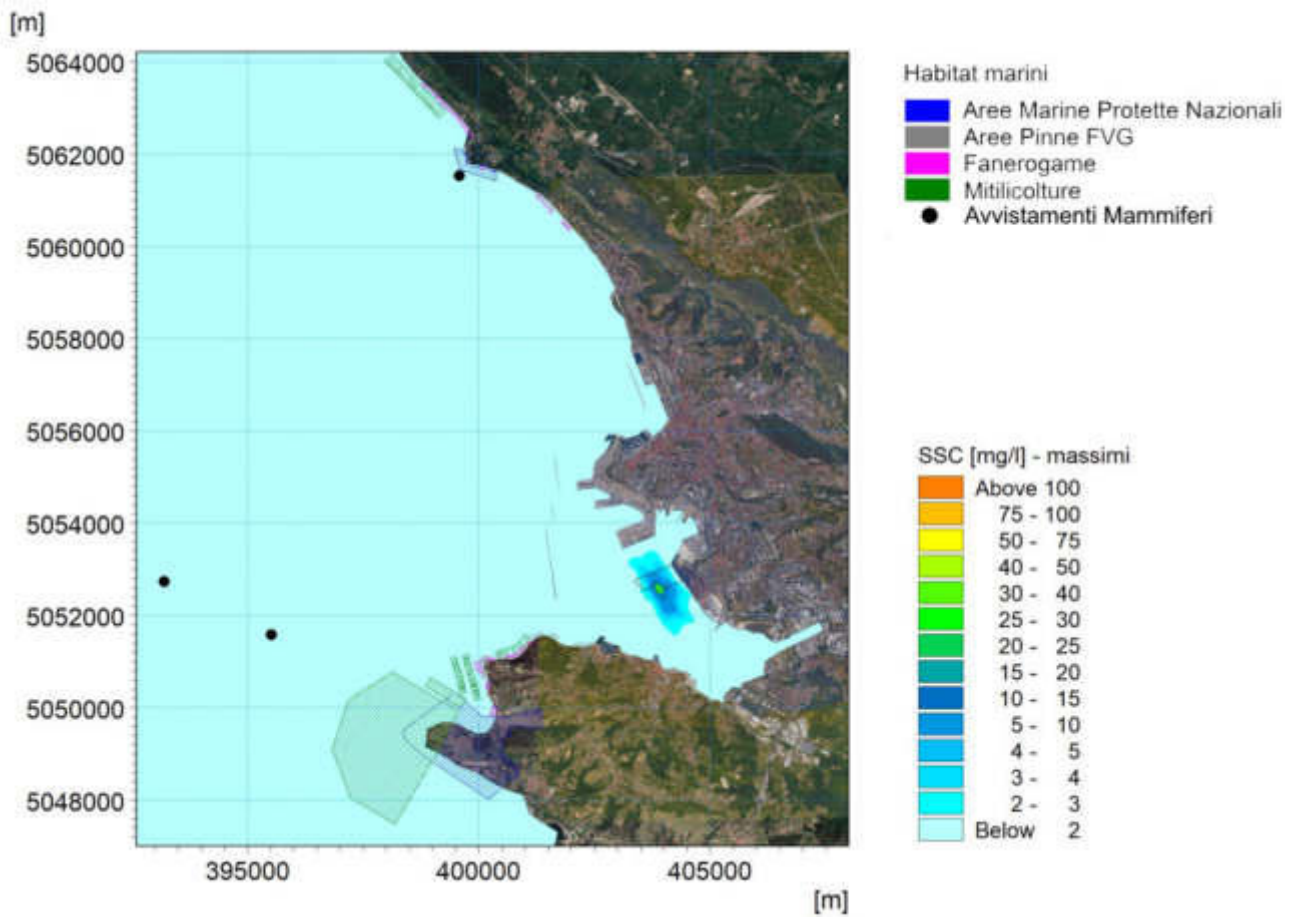


Figura 32 - Massimi di concentrazione a meta' colonna d'acqua [mg/l] a seguito della realizzazione dei pali in area P3 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi autunnali

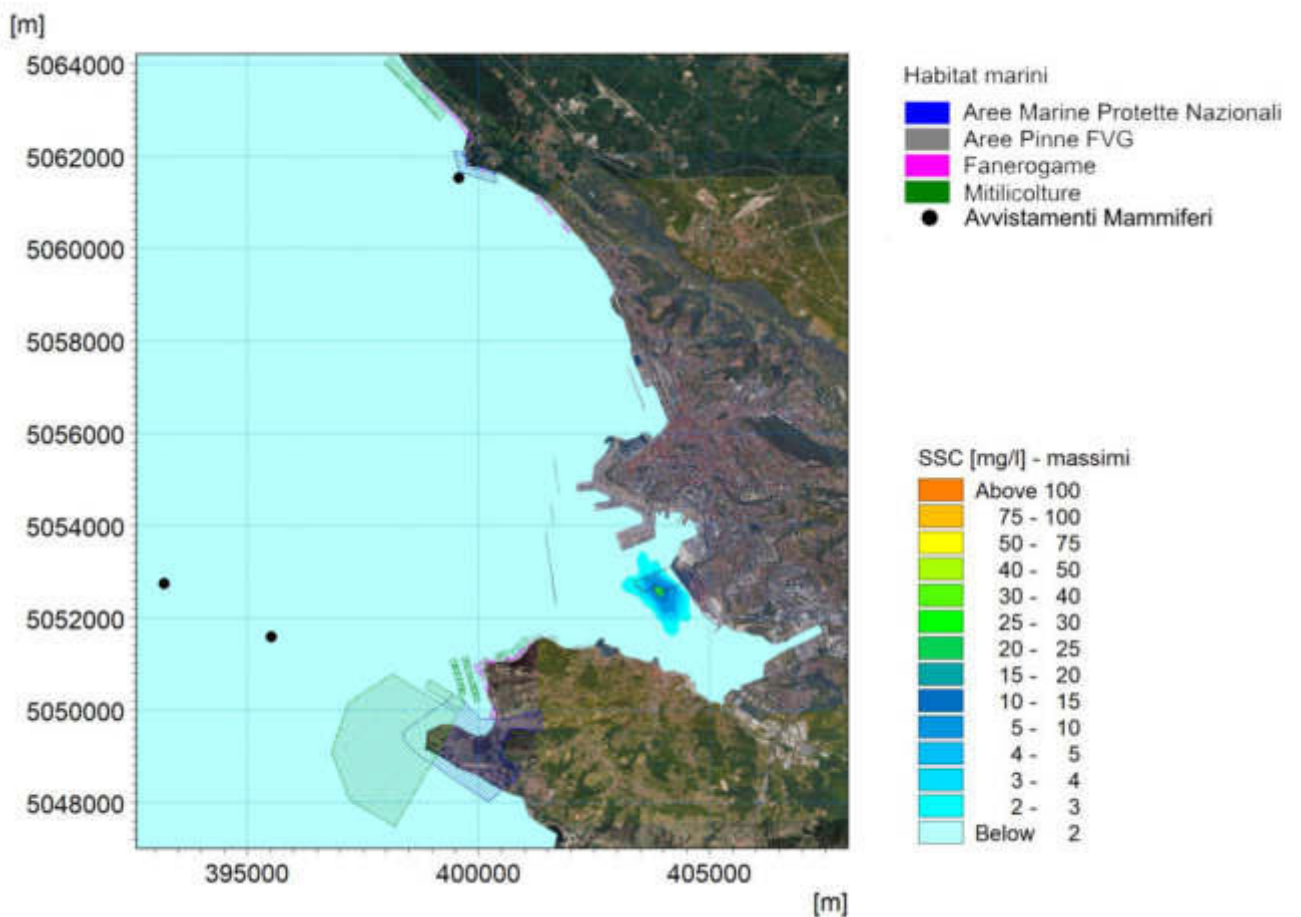


Figura 33 - Massimi di concentrazione al fondo [mg/l] a seguito della realizzazione dei pali in area P3 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi autunnali

# CONDIZIONE INVERNALE

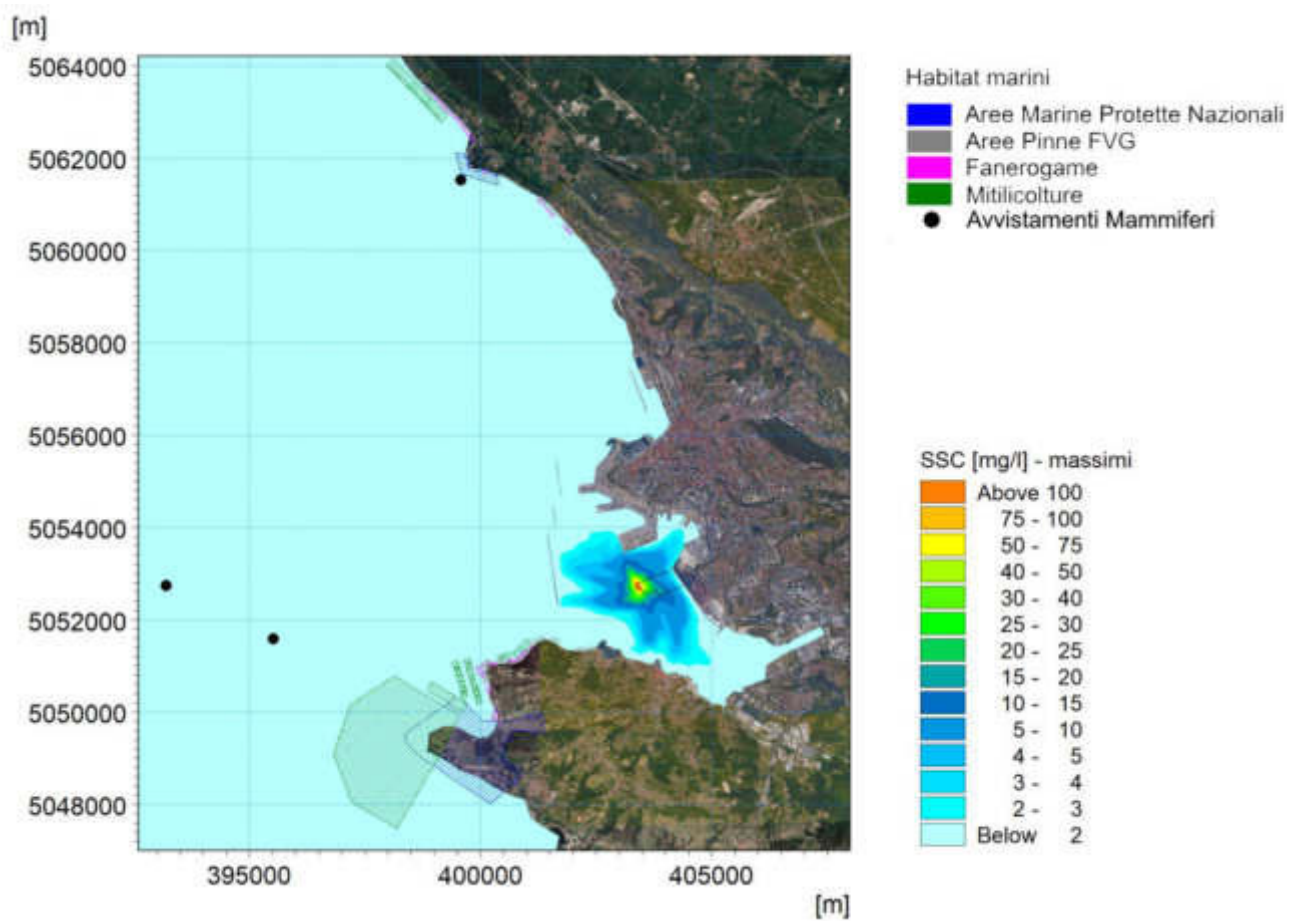


Figura 34 - Massimi di concentrazione in superficie [mg/l] a seguito della realizzazione dei pali in area P1 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi invernali



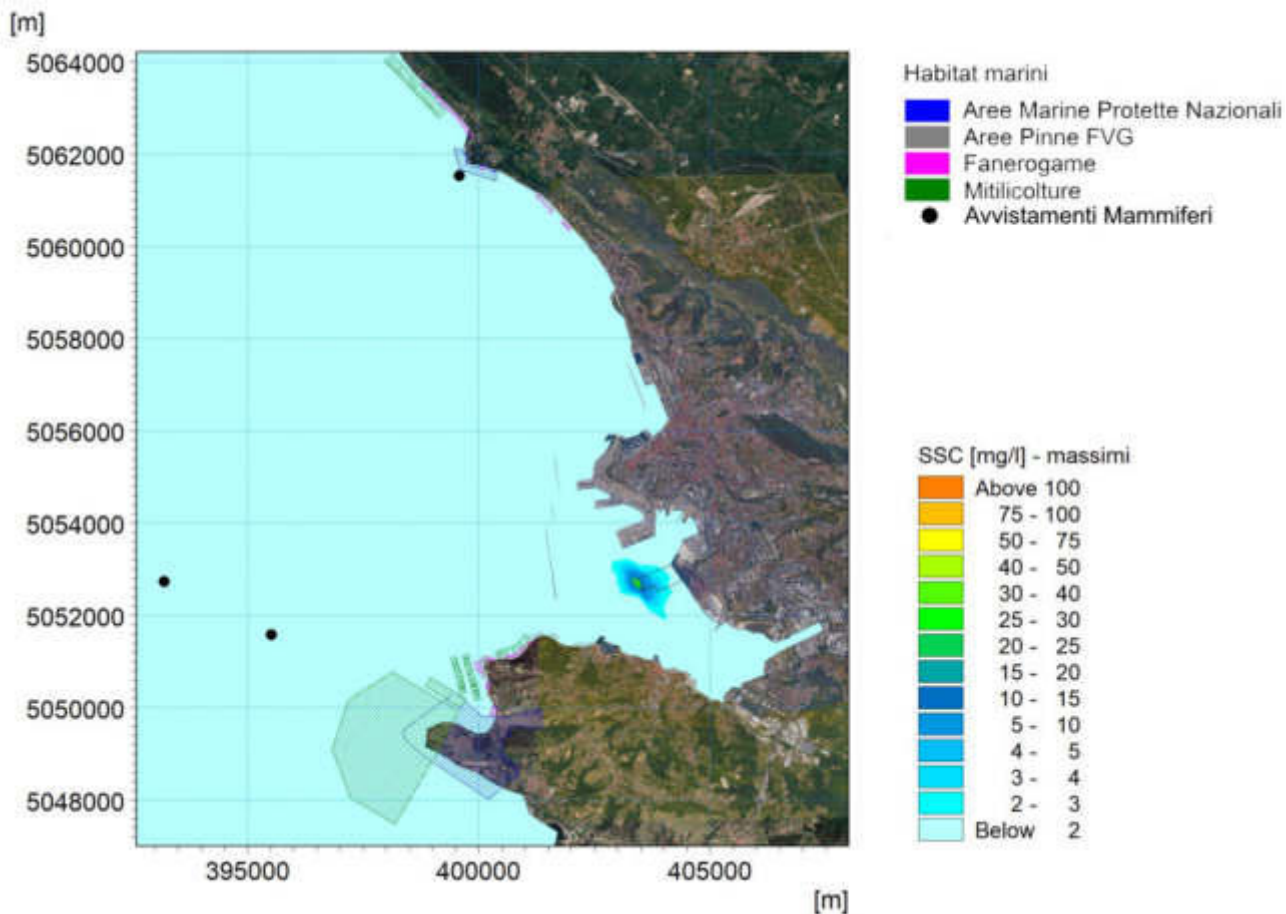


Figura 35 - Massimi di concentrazione a meta' colonna d'acqua [mg/l] a seguito della realizzazione dei pali in area P1 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi invernali

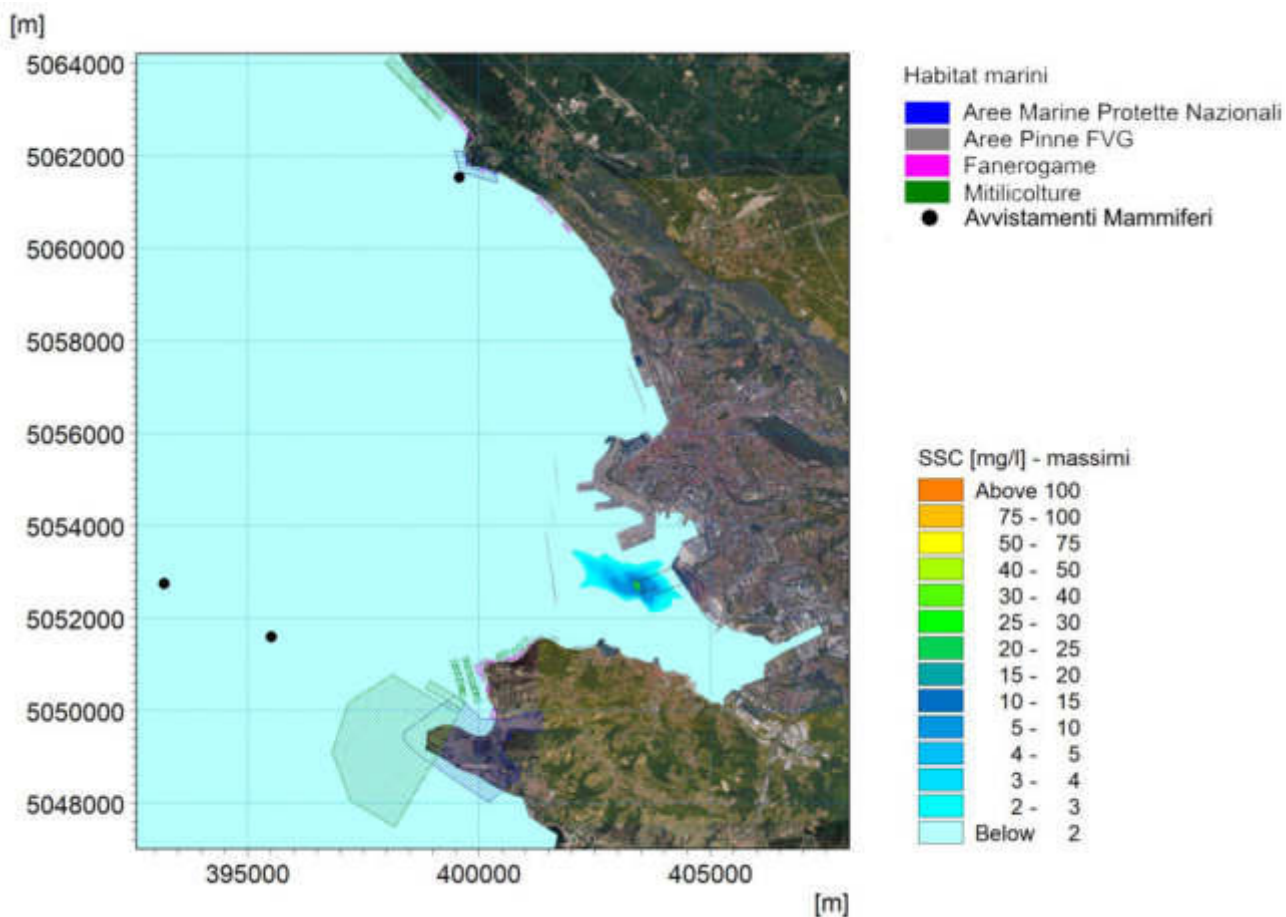


Figura 36 - Massimi di concentrazione al fondo [mg/l] a seguito della realizzazione dei pali in area P1 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi invernali

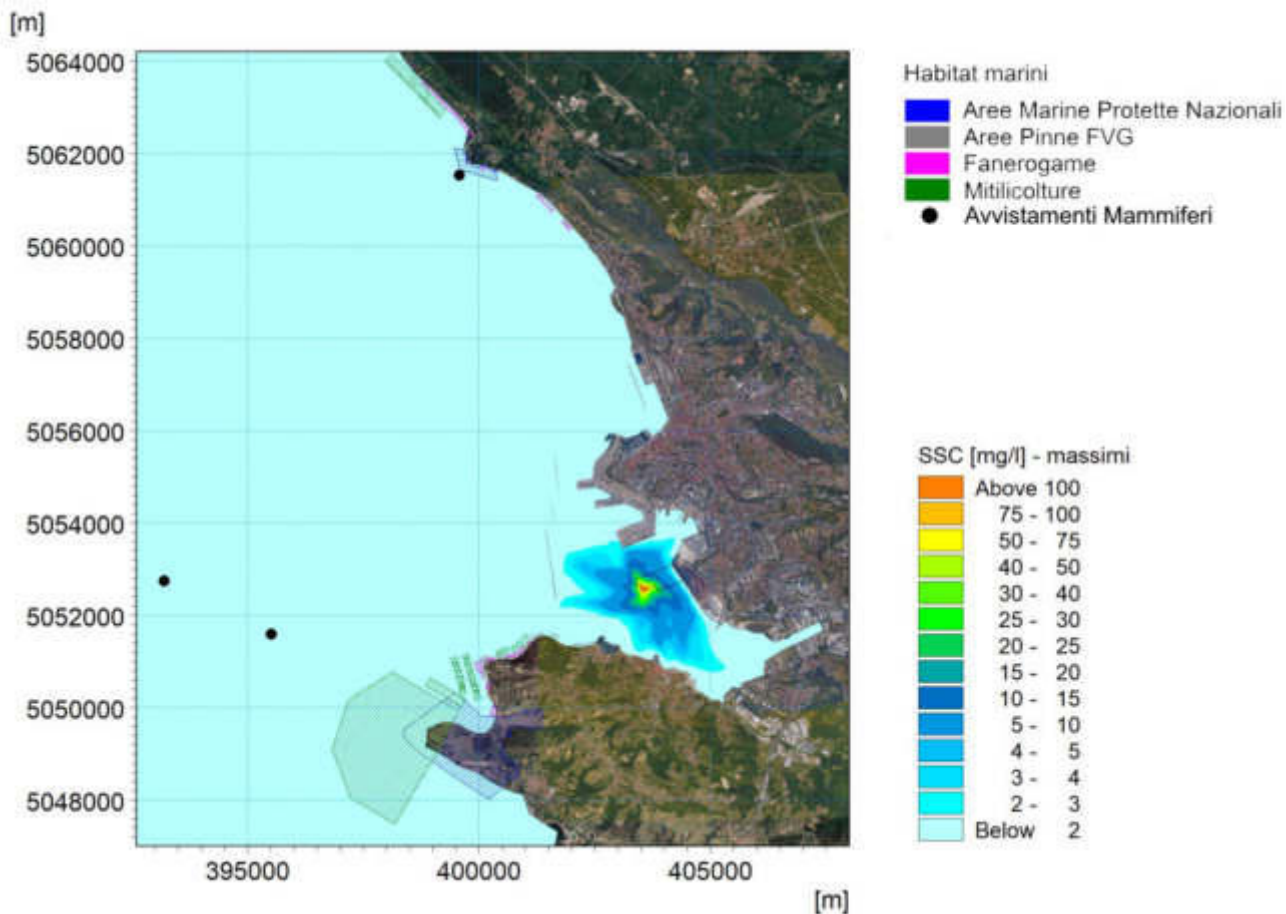


Figura 37 - Massimi di concentrazione in superficie [mg/l] a seguito della realizzazione dei pali in area P2 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi invernali

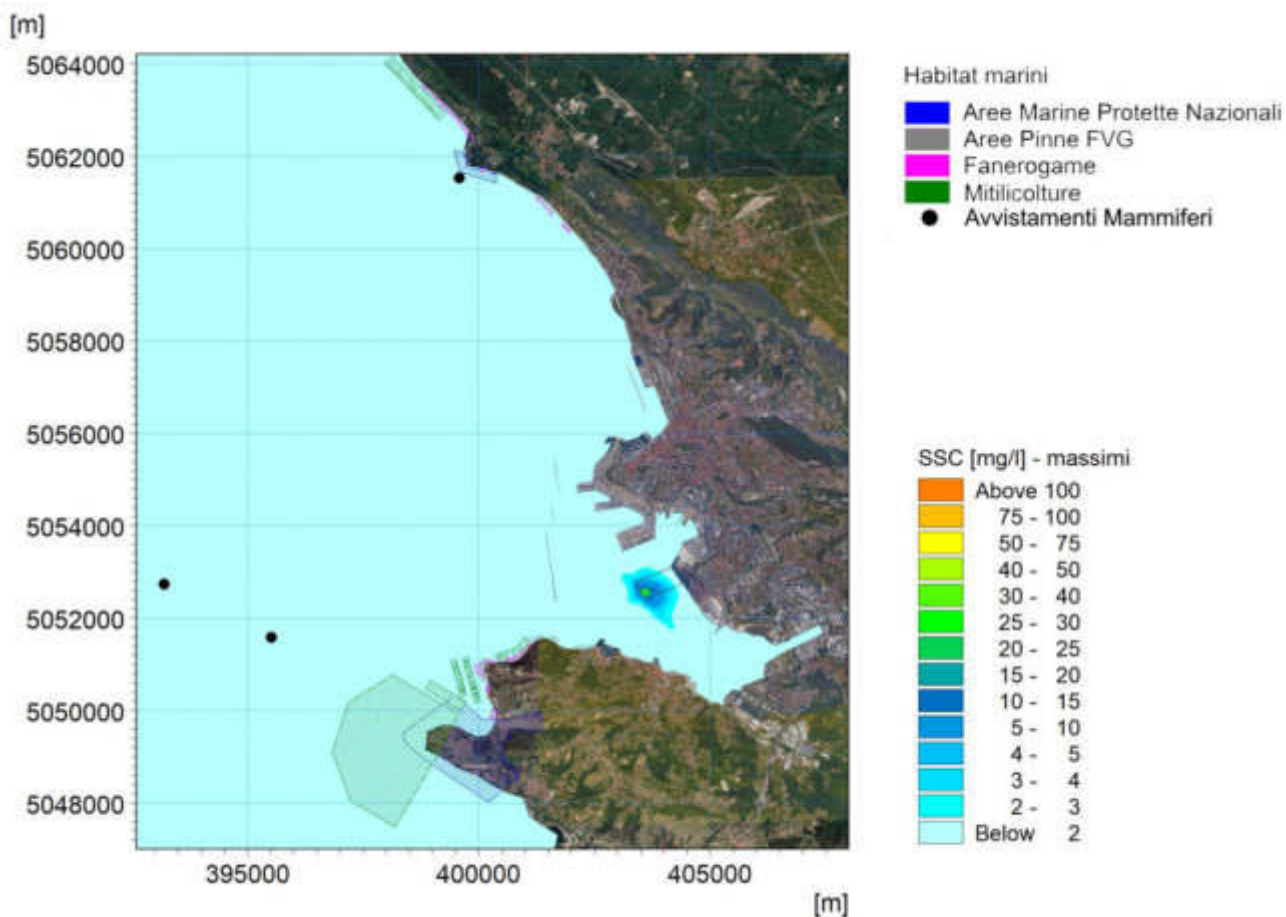


Figura 38 - Massimi di concentrazione a meta' colonna d'acqua [mg/l] a seguito della realizzazione dei pali in area P2 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi invernali

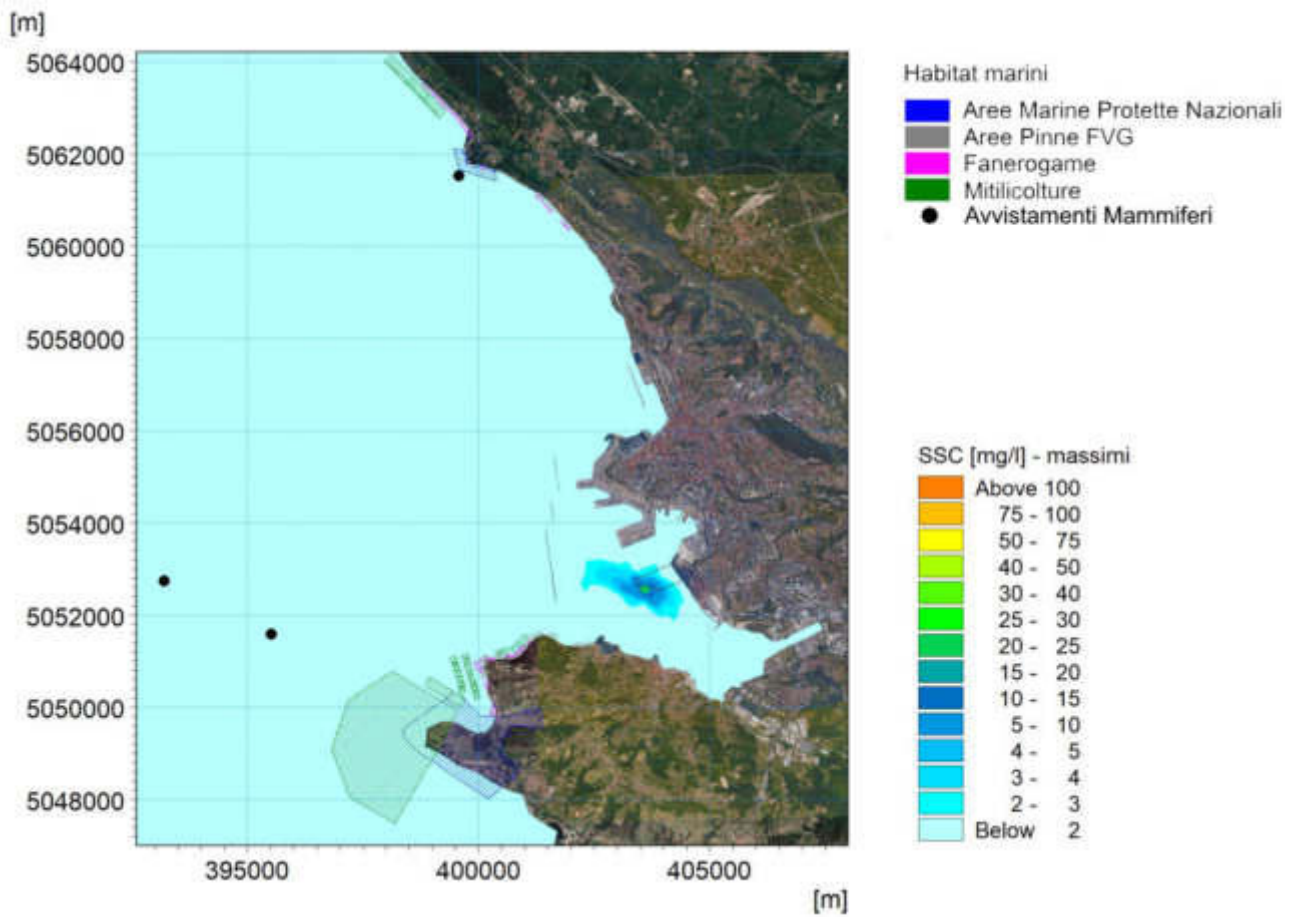


Figura 39 - Massimi di concentrazione al fondo [mg/l] a seguito della realizzazione dei pali in area P2 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi invernali

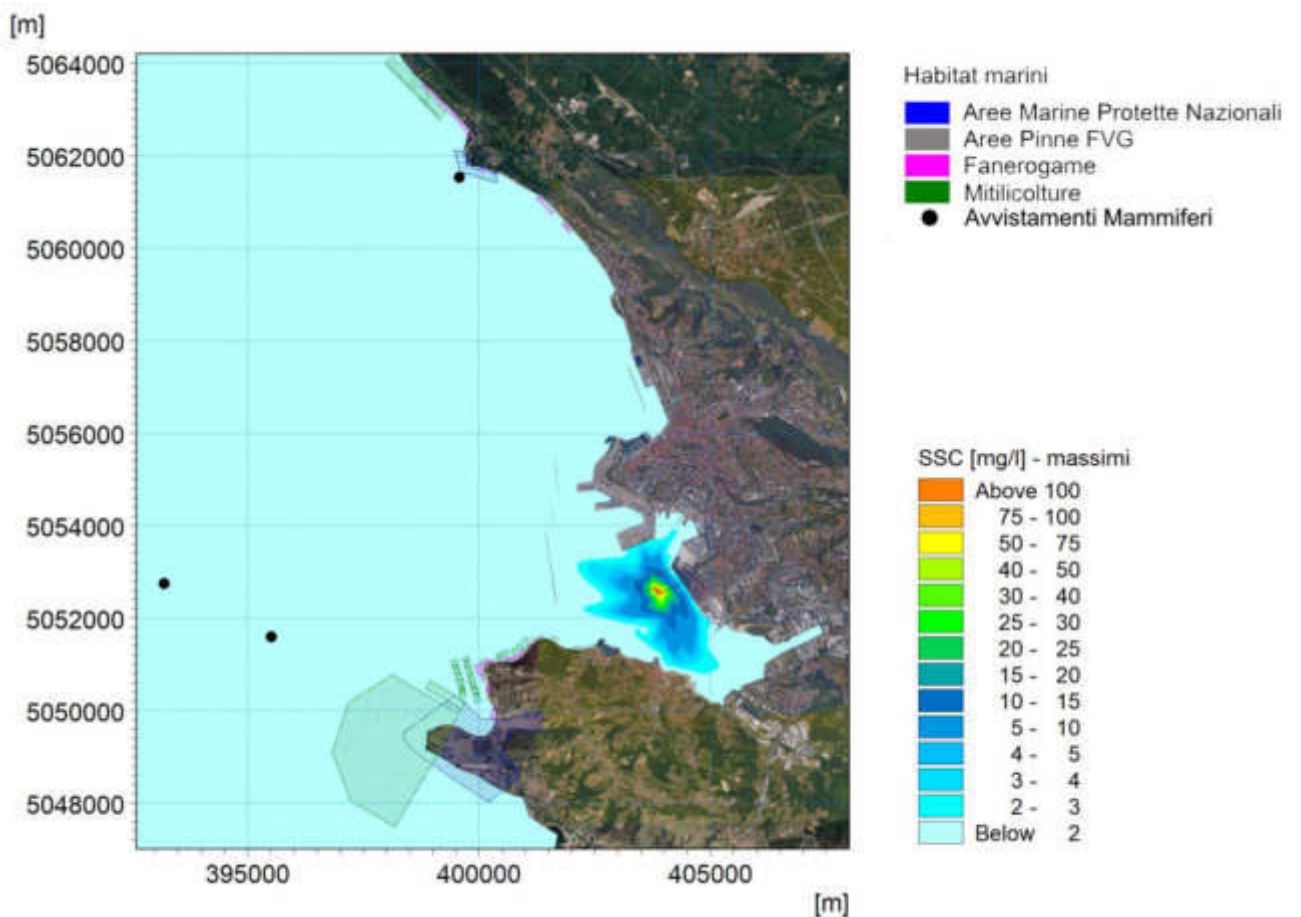


Figura 40 - Massimi di concentrazione in superficie [mg/l] a seguito della realizzazione dei pali in area P3 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi invernali

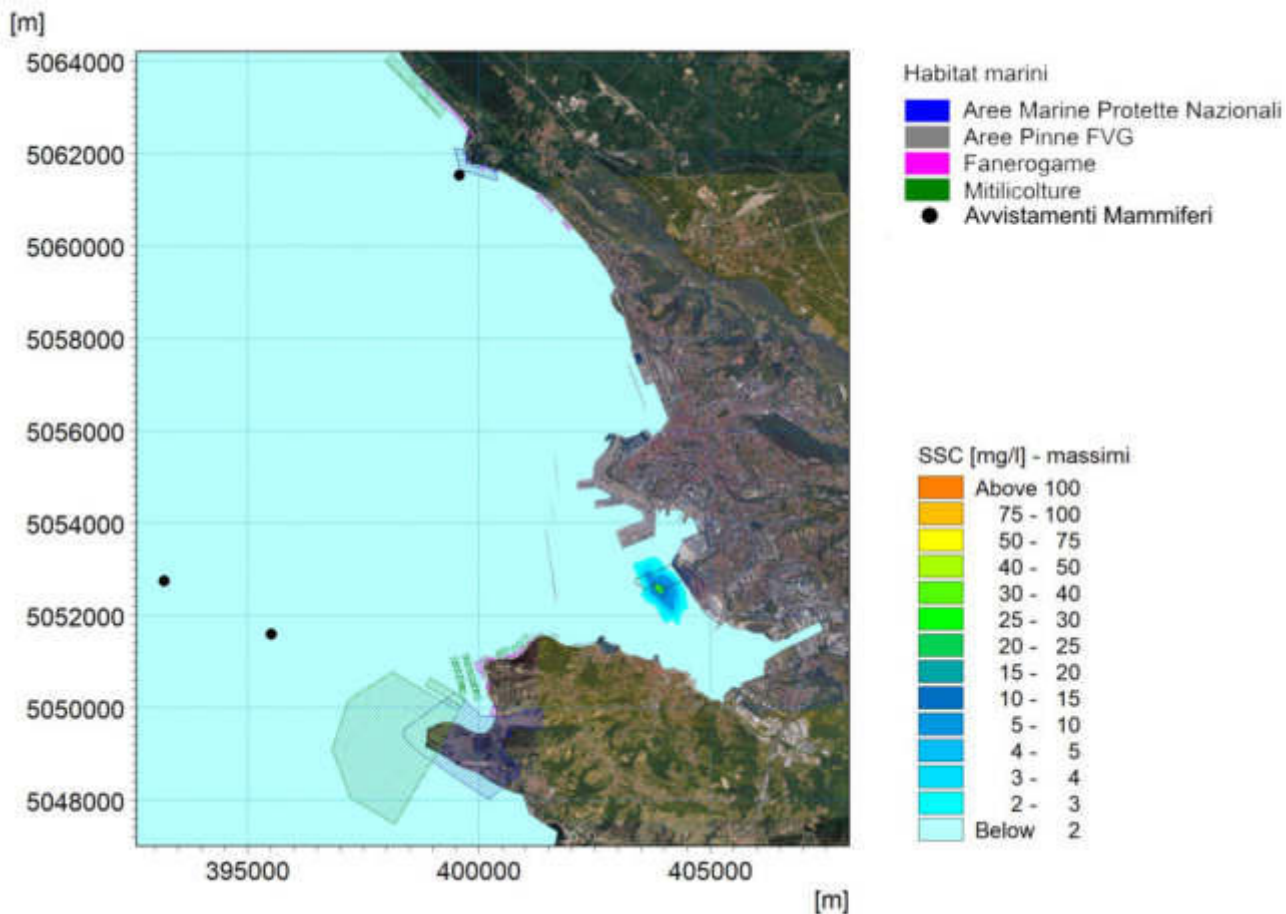


Figura 41 - Massimi di concentrazione a meta' colonna d'acqua [mg/l] a seguito della realizzazione dei pali in area P3 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi invernali

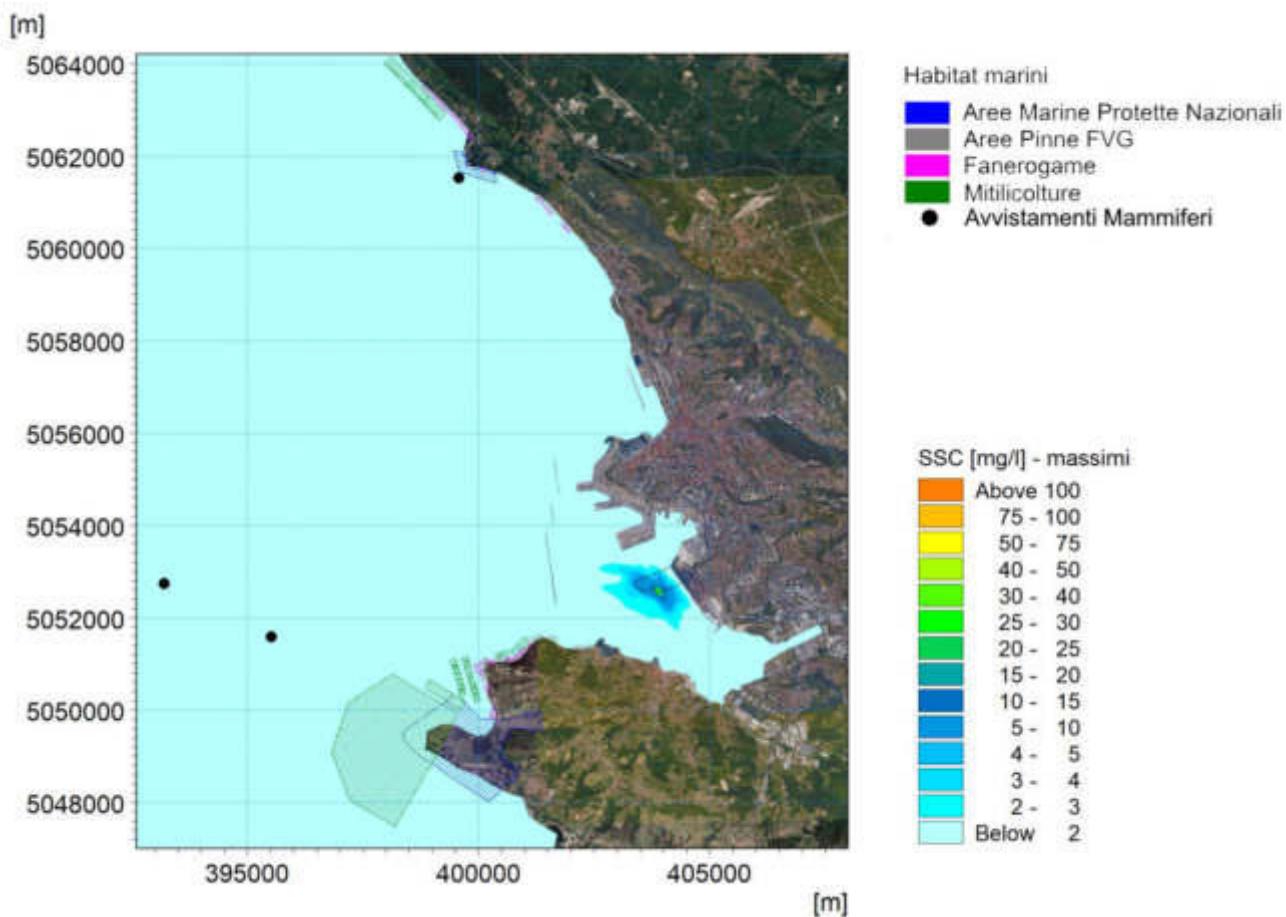


Figura 42 - Massimi di concentrazione al fondo [mg/l] a seguito della realizzazione dei pali in area P3 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi invernali

# CONDIZIONE PRIMAVERILE

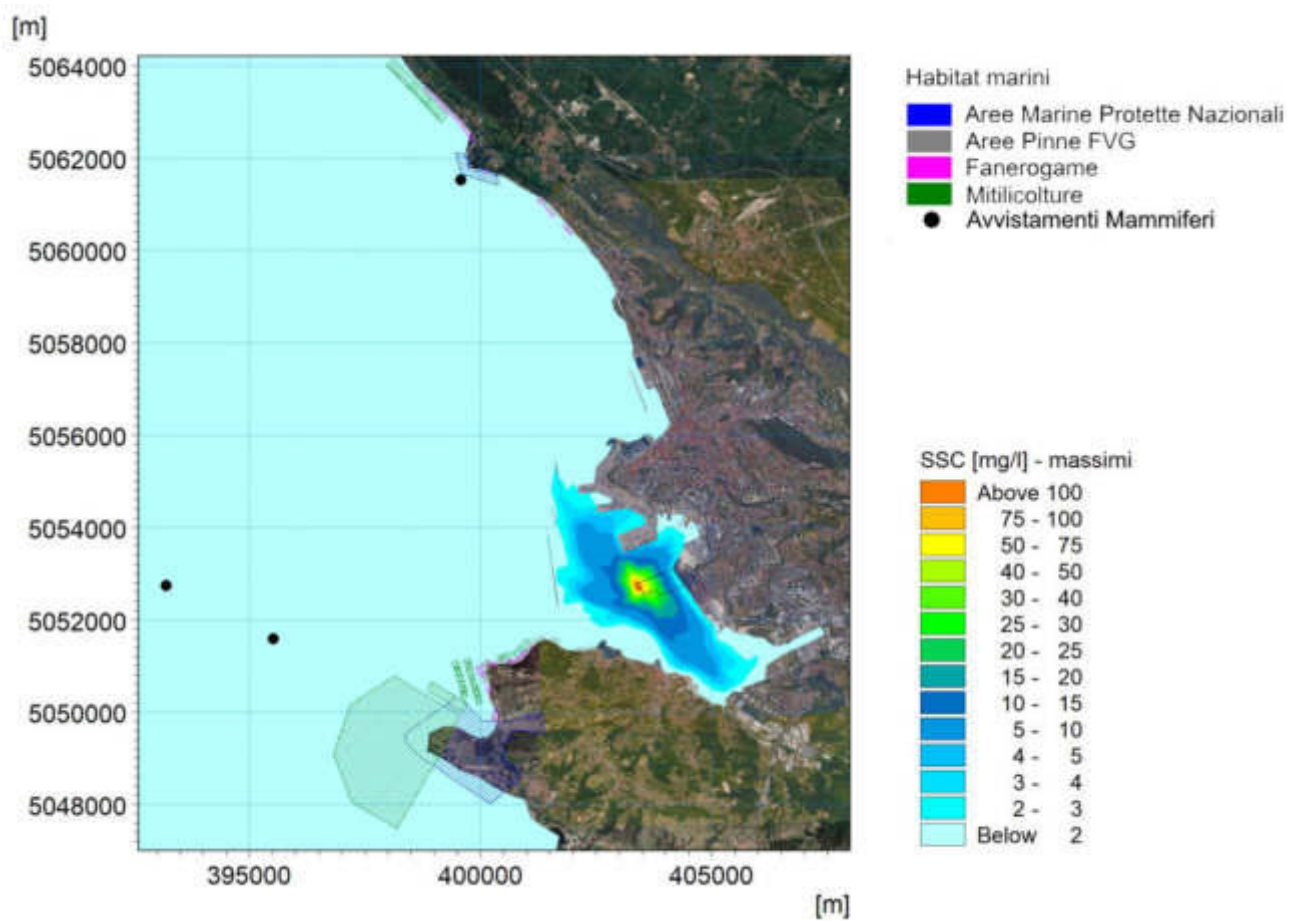


Figura 43 - Massimi di concentrazione in superficie [mg/l] a seguito della realizzazione dei pali in area P1 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi primaverili

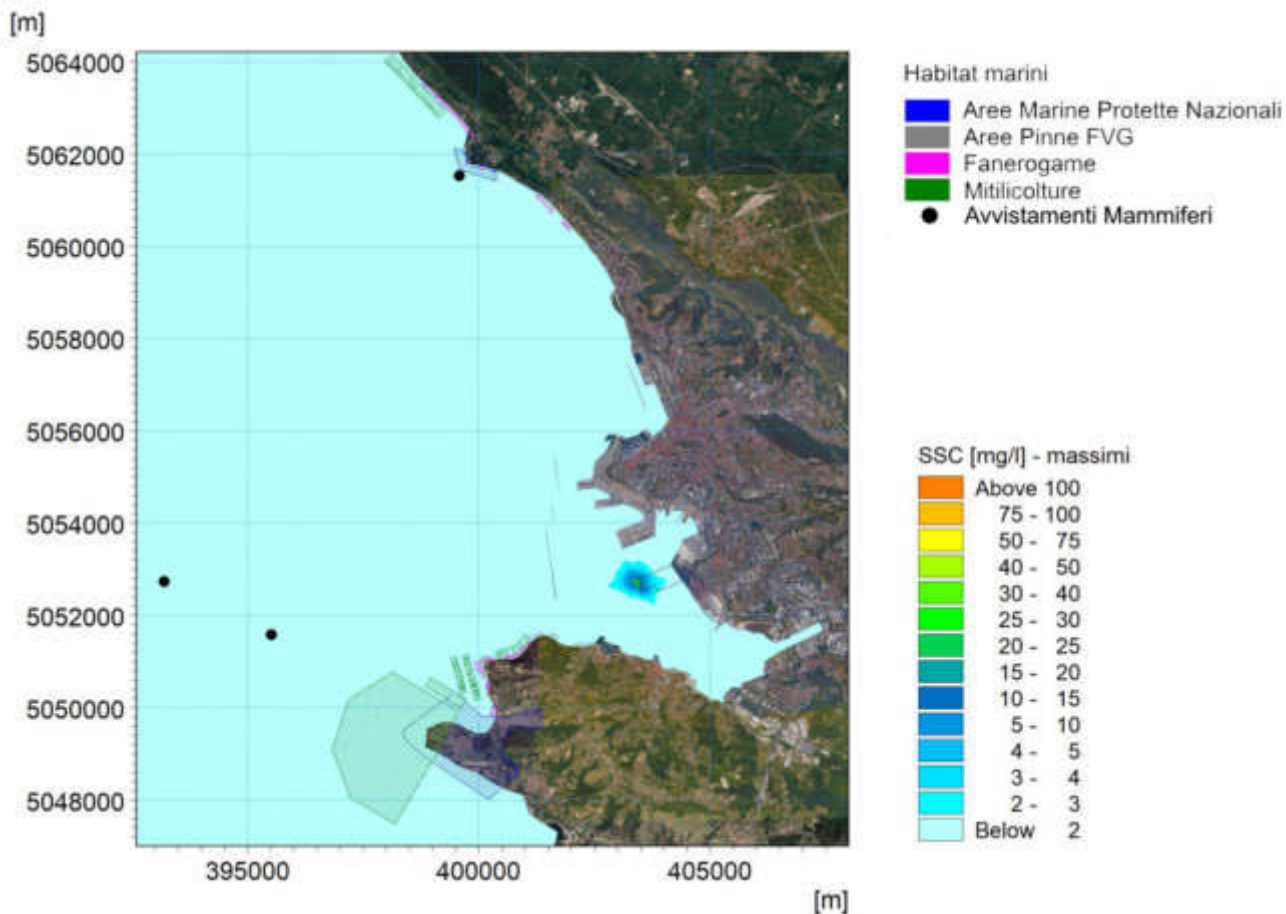


Figura 44 - Massimi di concentrazione a meta' colonna d'acqua [mg/l] a seguito della realizzazione dei pali in area P1 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi primaverili

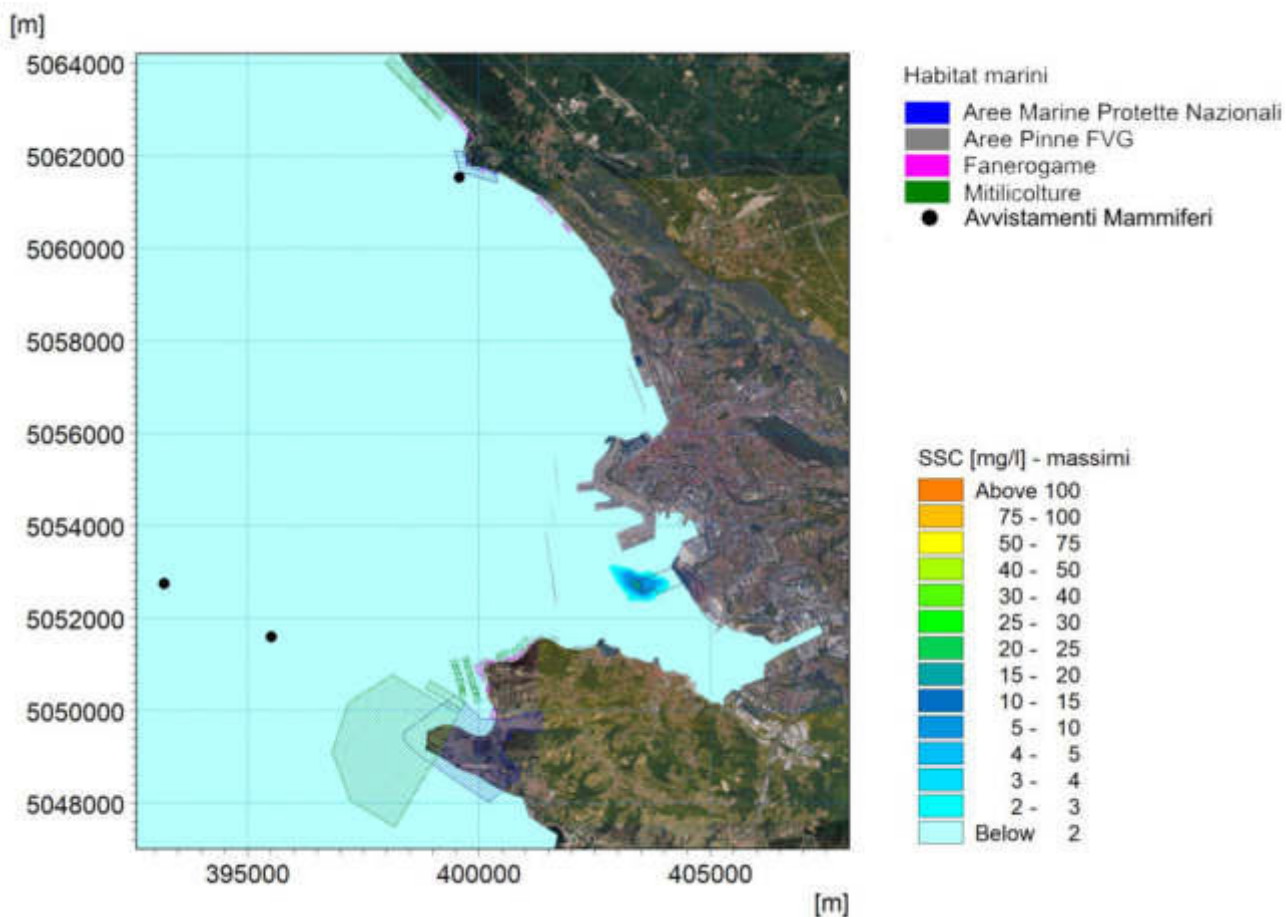


Figura 45 - Massimi di concentrazione al fondo [mg/l] a seguito della realizzazione dei pali in area P1 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi primaverili

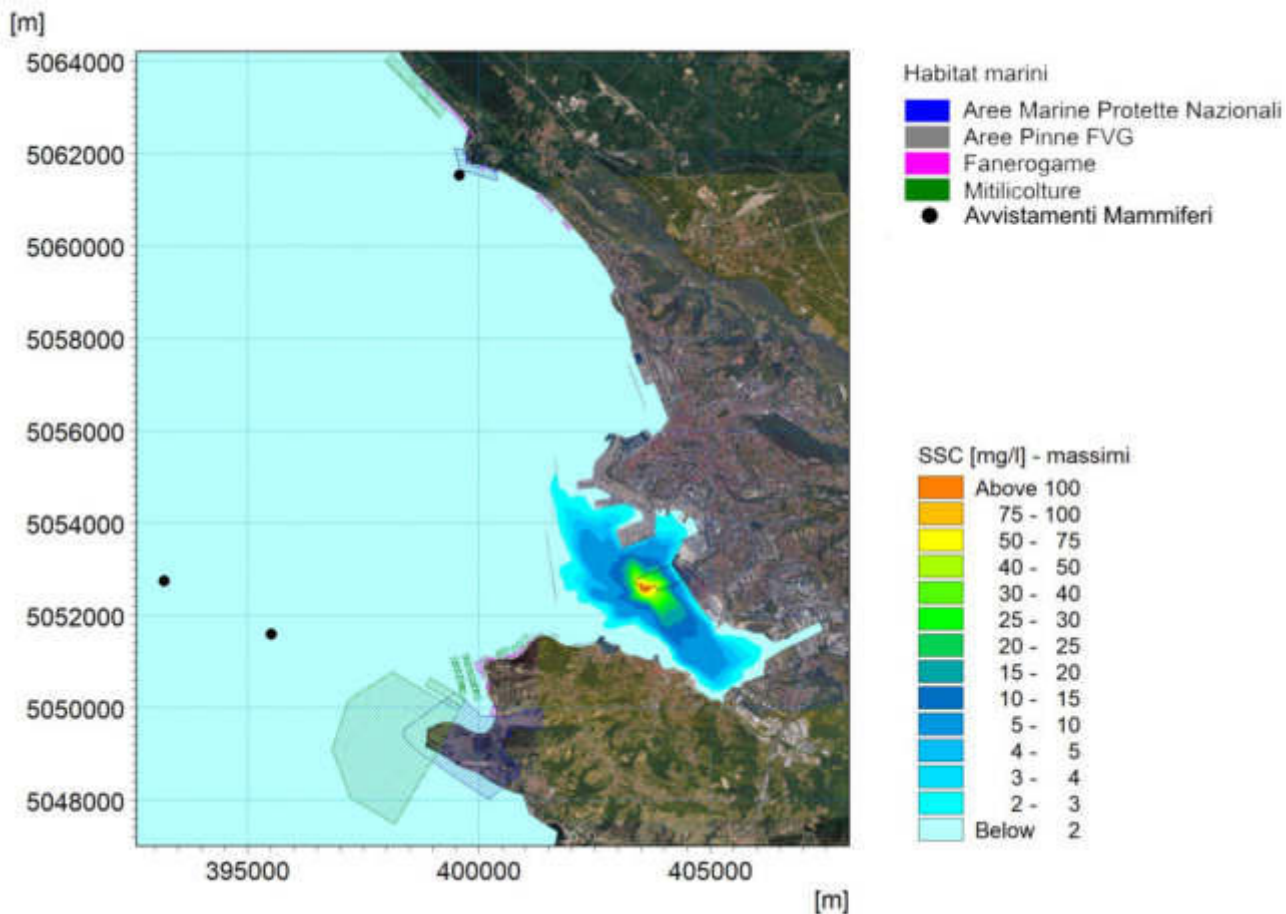


Figura 46 - Massimi di concentrazione in superficie [mg/l] a seguito della realizzazione dei pali in area P2 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi primaverili

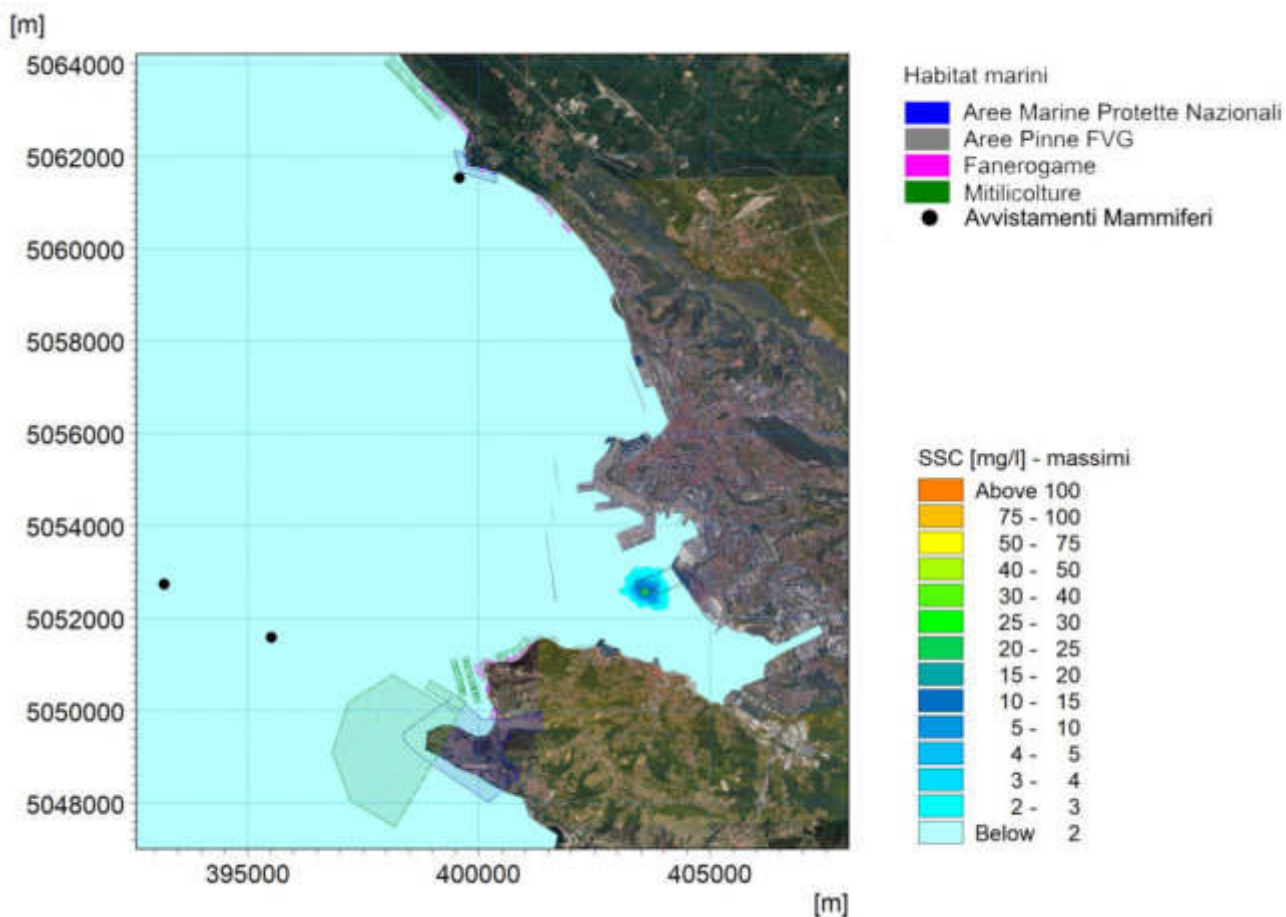


Figura 47 - Massimi di concentrazione a meta' colonna d'acqua [mg/l] a seguito della realizzazione dei pali in area P2 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi primaverili

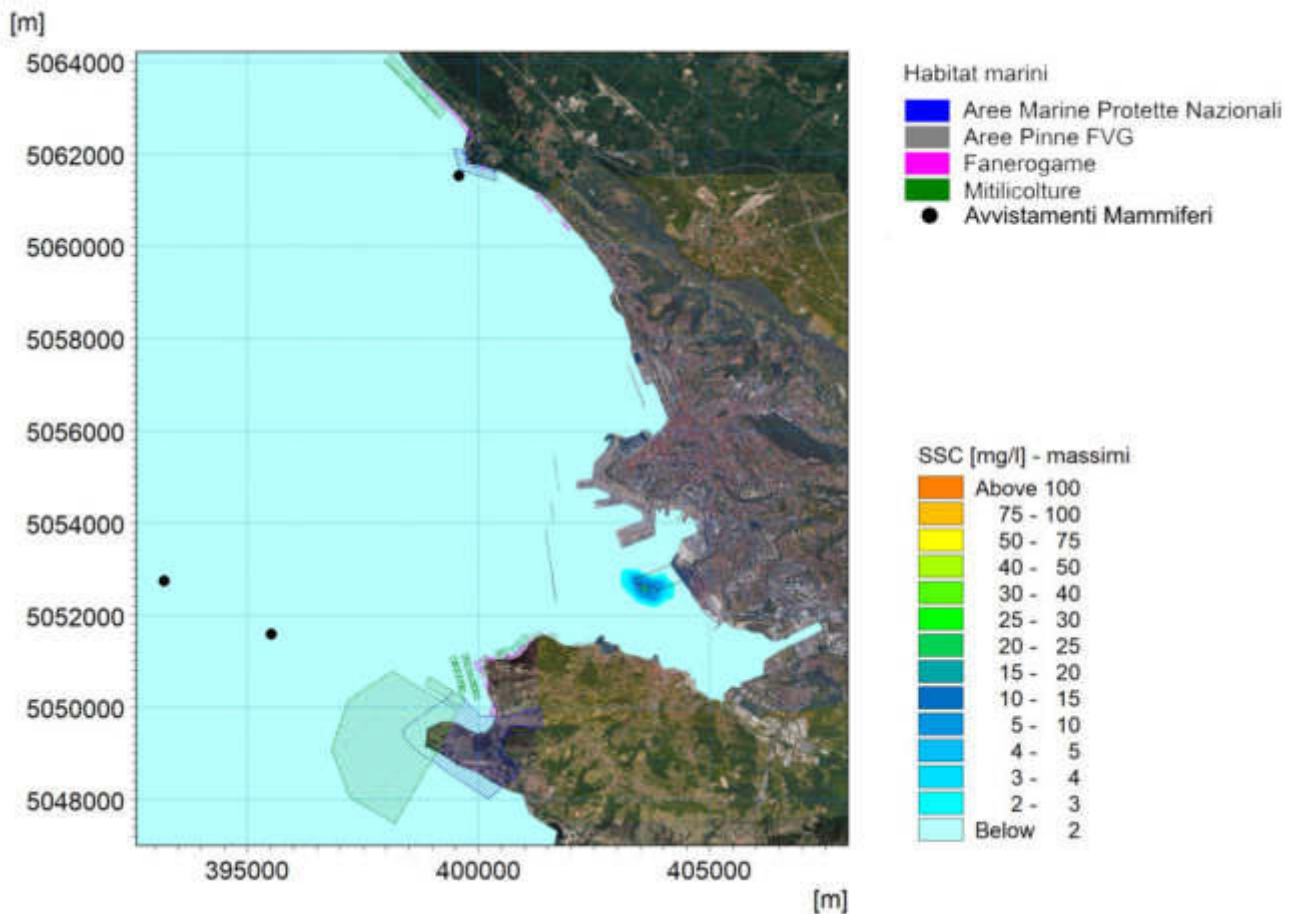


Figura 48 - Massimi di concentrazione al fondo [mg/l] a seguito della realizzazione dei pali in area P2 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi primaverili

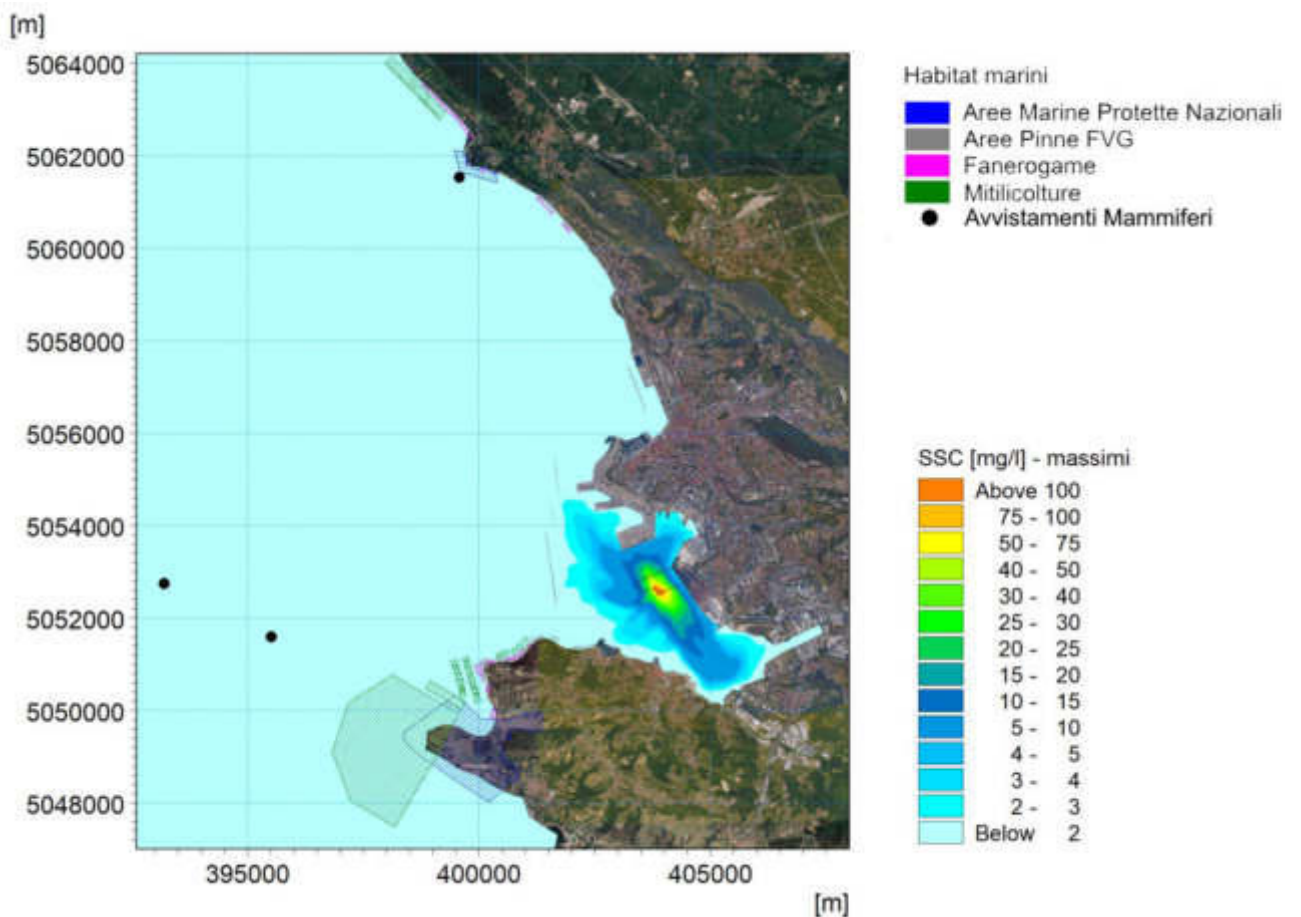


Figura 49 - Massimi di concentrazione in superficie [mg/l] a seguito della realizzazione dei pali in area P3 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi primaverili



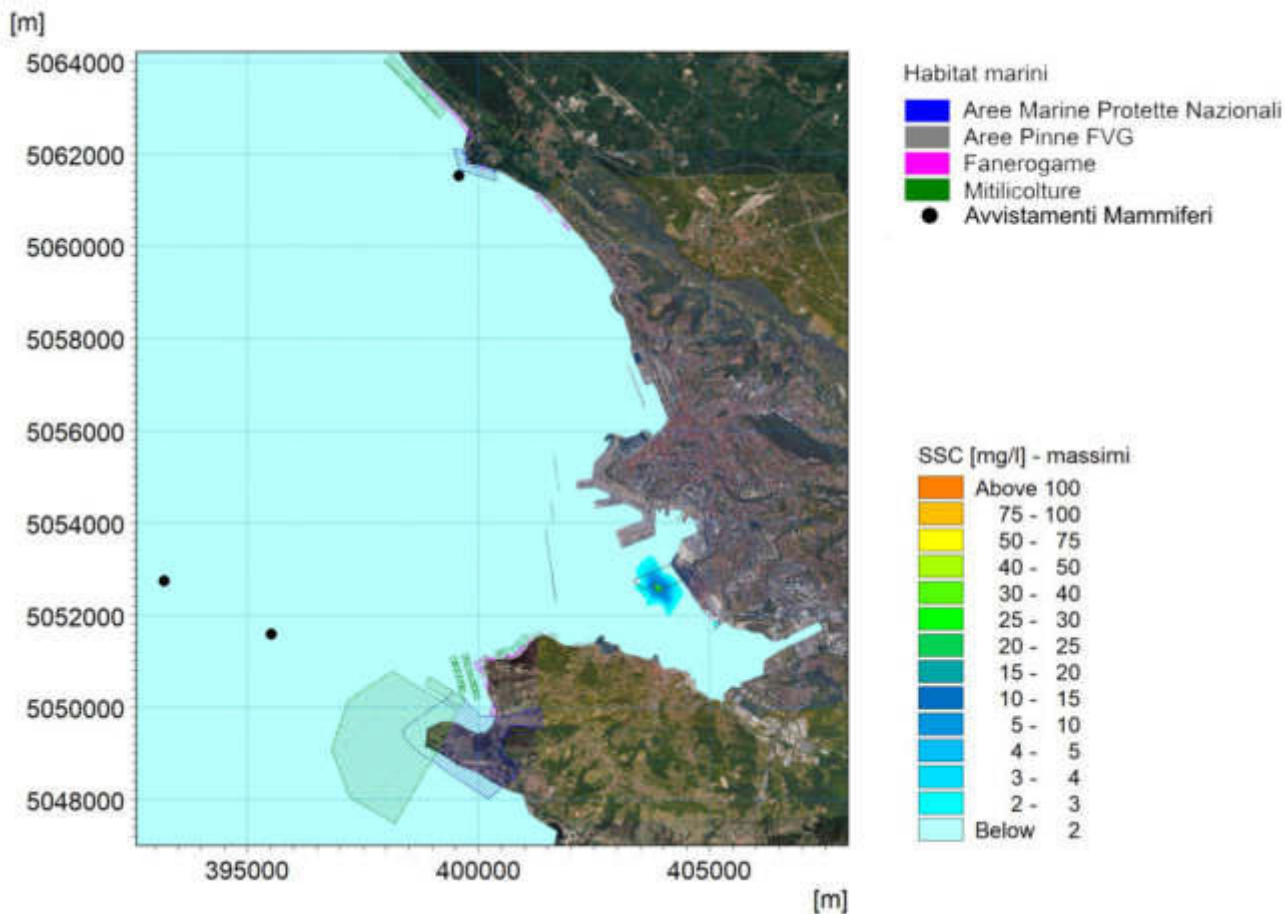


Figura 50 - Massimi di concentrazione a meta' colonna d'acqua [mg/l] a seguito della realizzazione dei pali in area P3 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi primaverili

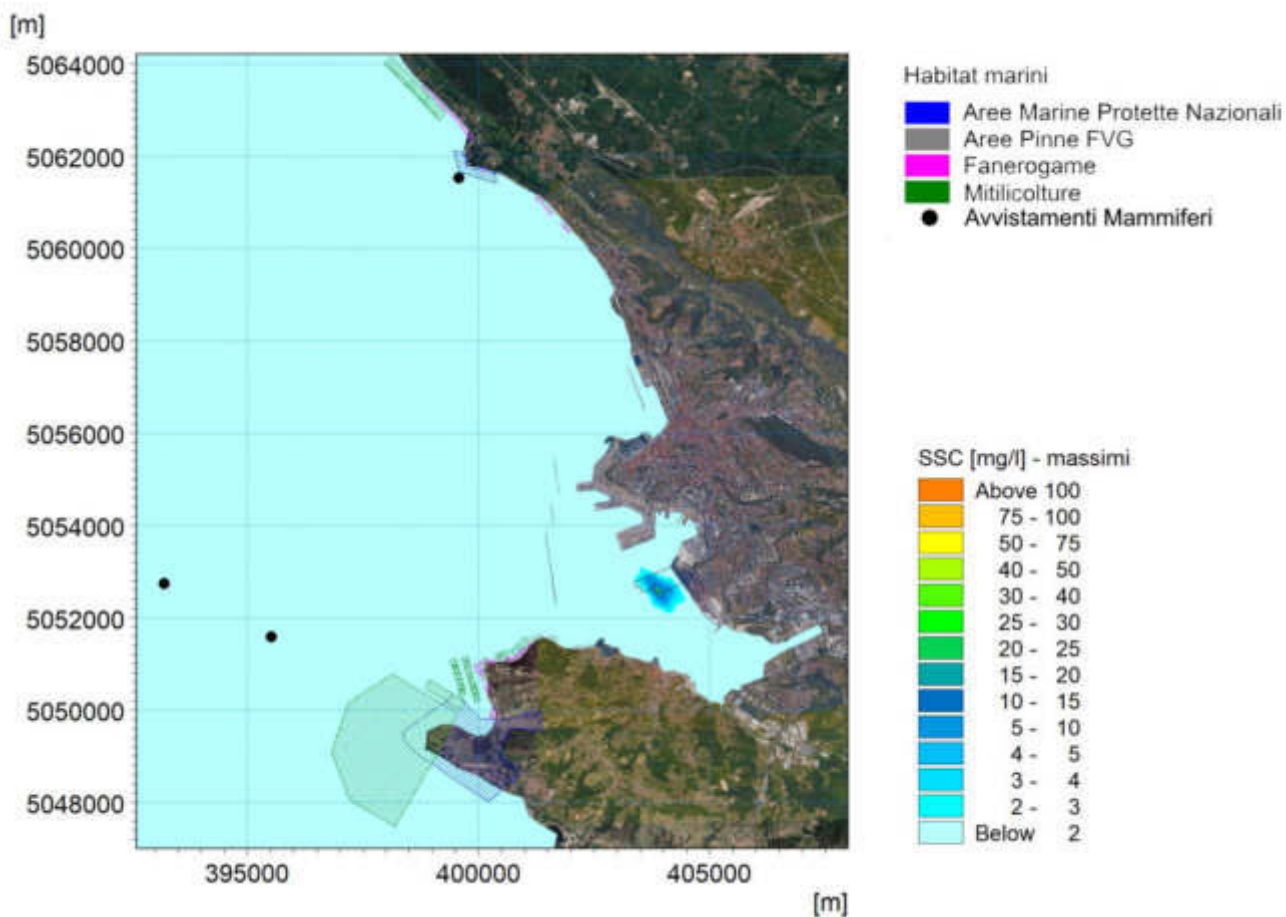


Figura 51 - Massimi di concentrazione al fondo [mg/l] a seguito della realizzazione dei pali in area P3 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi primaverili

# CONDIZIONE ESTIVA

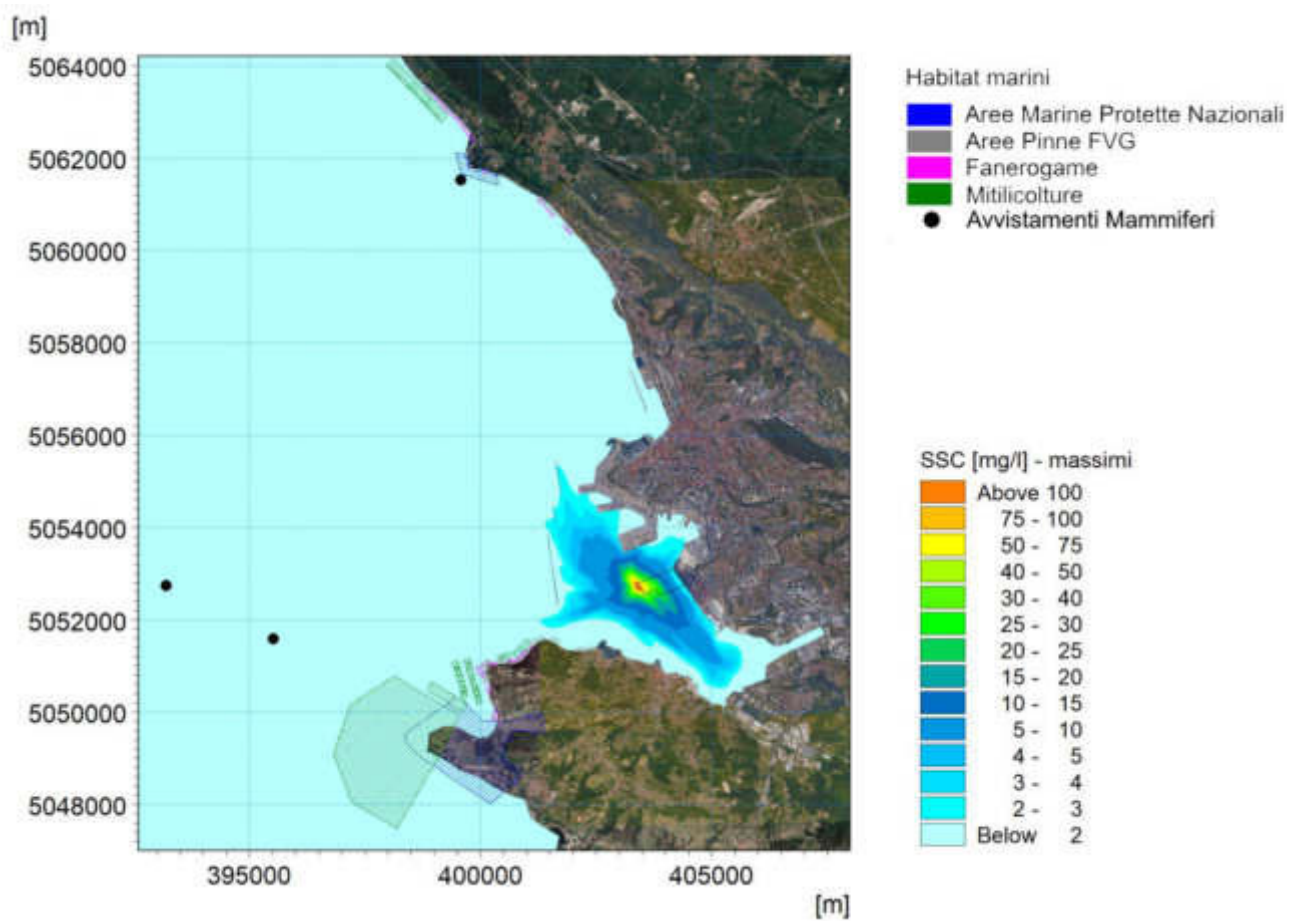


Figura 52 - Massimi di concentrazione in superficie [mg/l] a seguito della realizzazione dei pali in area P1 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi estivi

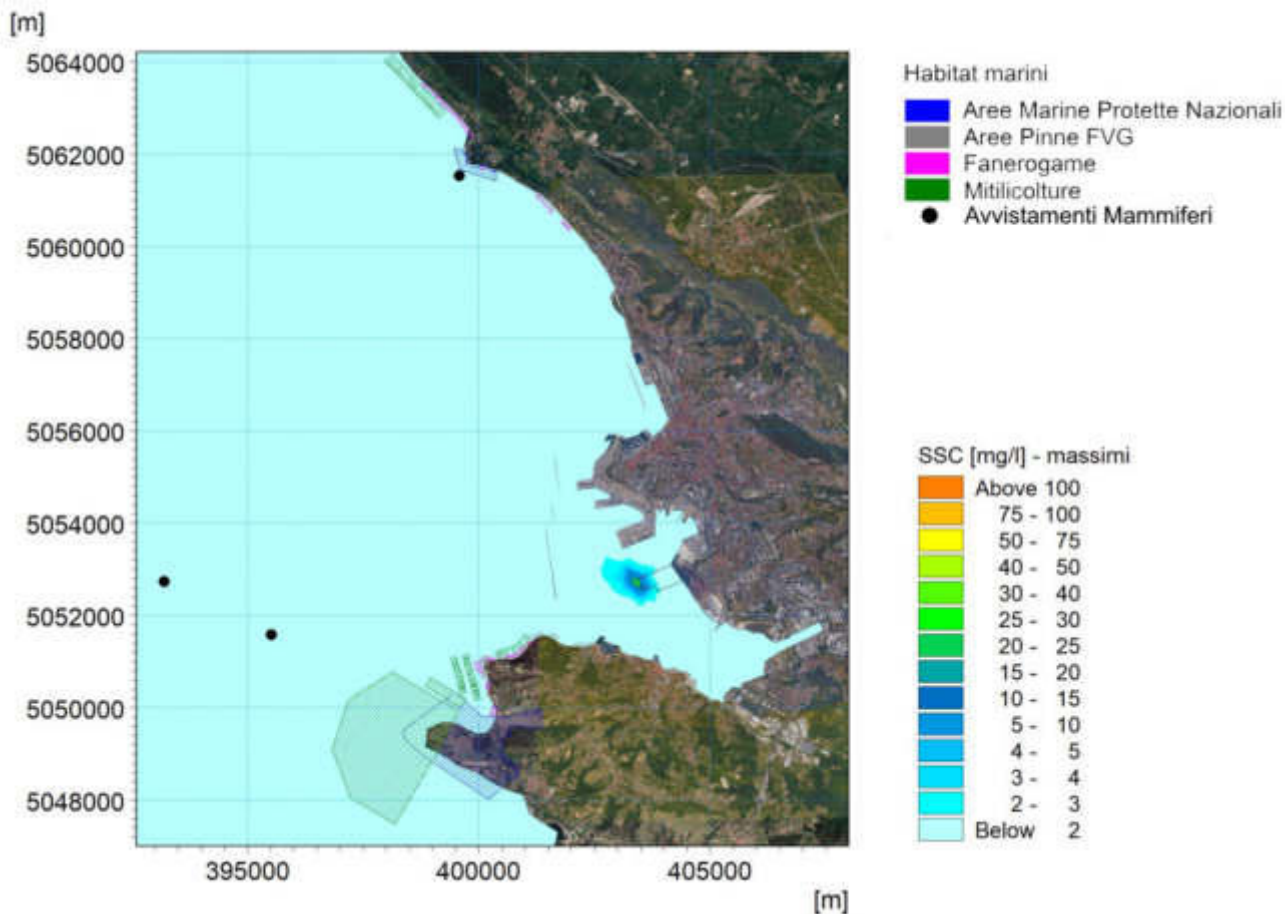


Figura 53 - Massimi di concentrazione a meta' colonna d'acqua [mg/l] a seguito della realizzazione dei pali in area P1 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi estivi

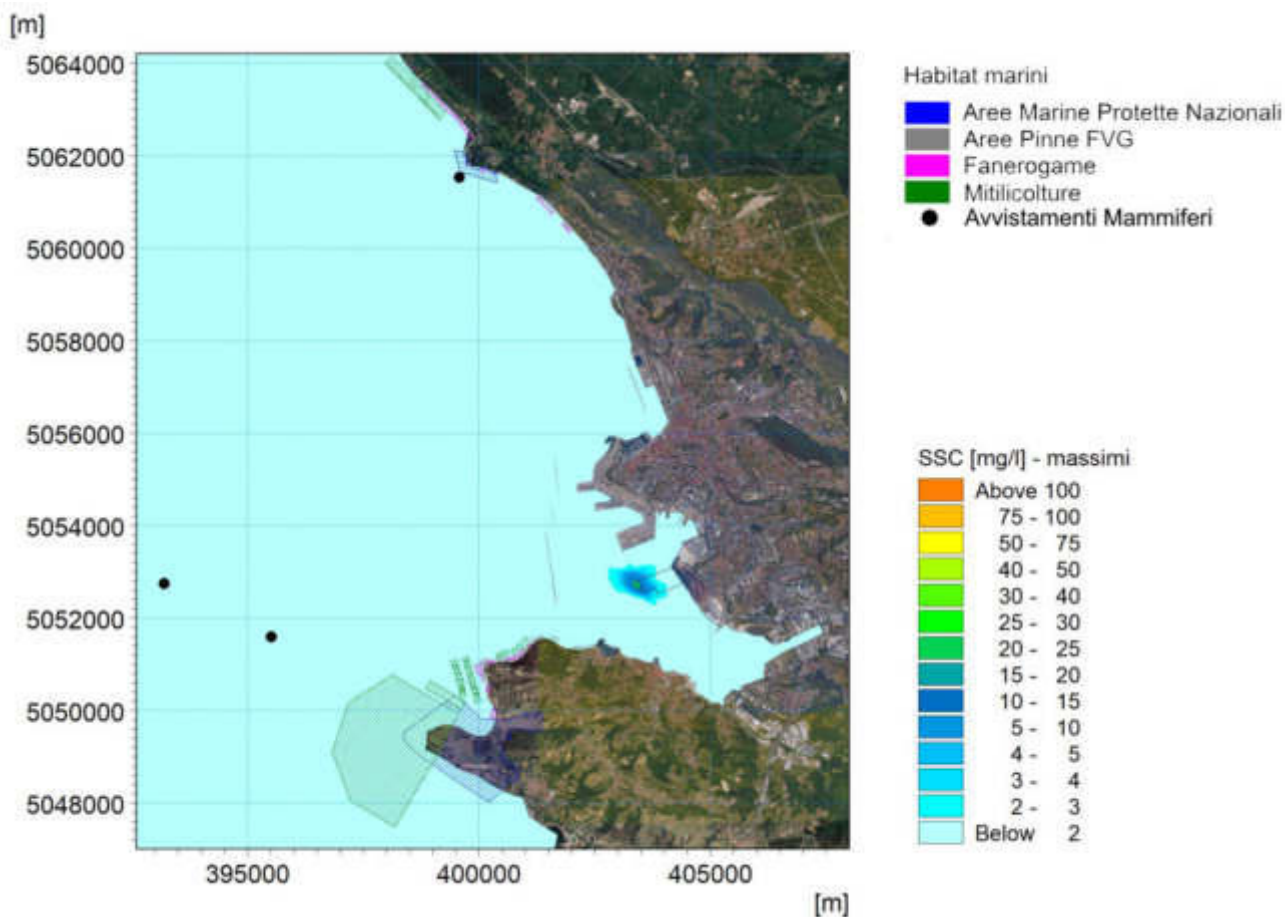


Figura 54 - Massimi di concentrazione al fondo [mg/l] a seguito della realizzazione dei pali in area P1 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi estivi

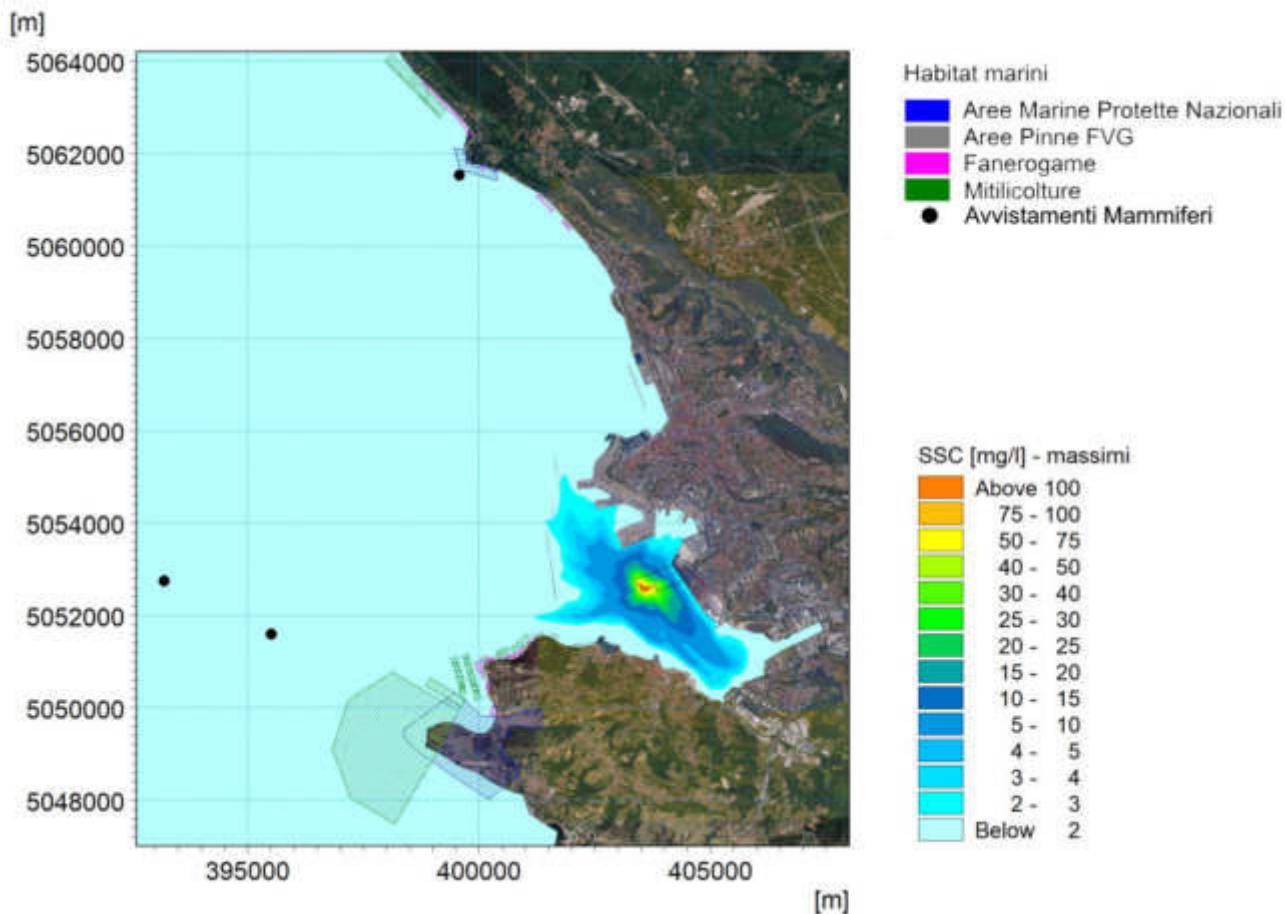


Figura 55 - Massimi di concentrazione in superficie [mg/l] a seguito della realizzazione dei pali in area P2 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi estivi

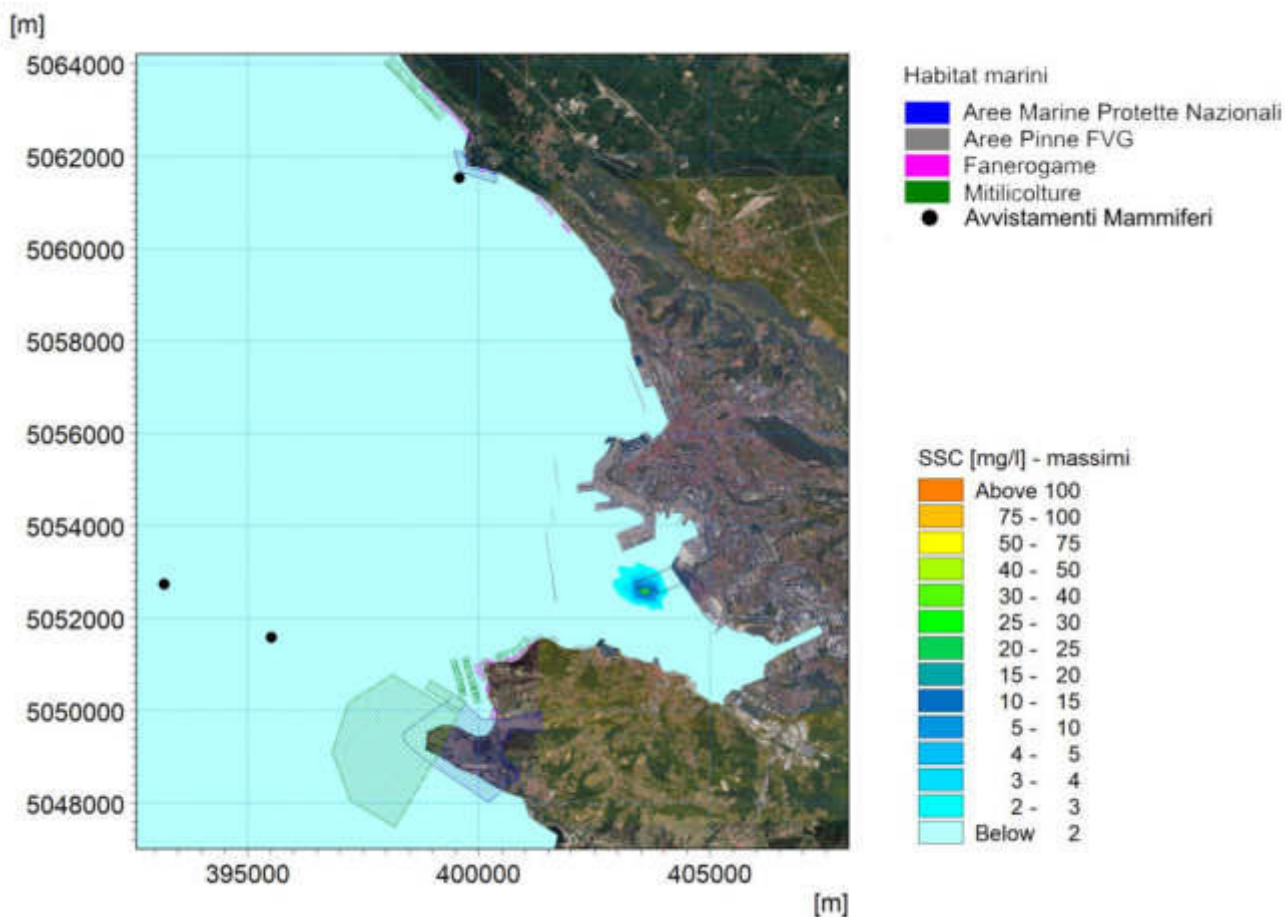


Figura 56 - Massimi di concentrazione a meta' colonna d'acqua [mg/l] a seguito della realizzazione dei pali in area P2 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi estivi

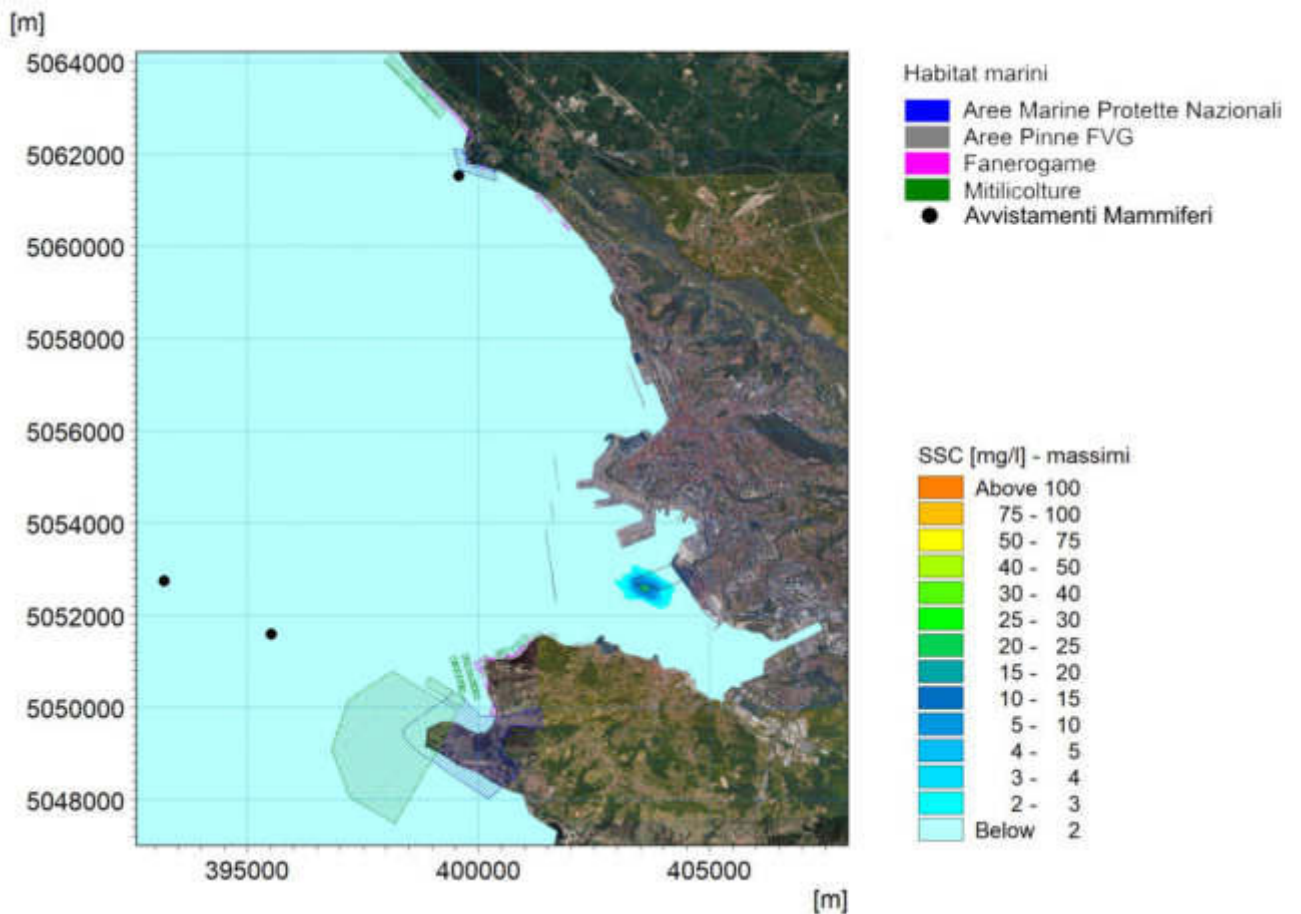


Figura 57 - Massimi di concentrazione al fondo [mg/l] a seguito della realizzazione dei pali in area P2 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi estivi

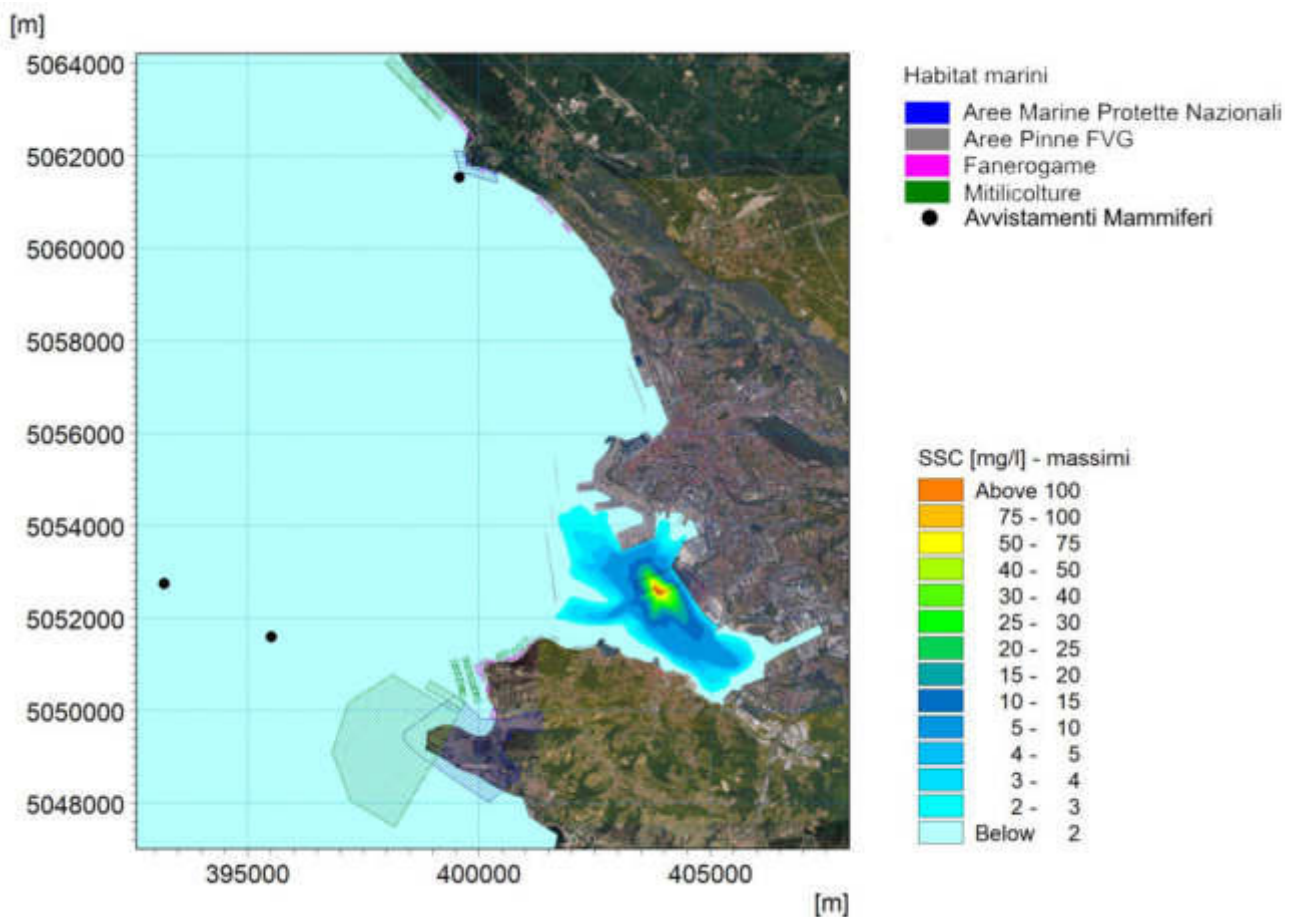


Figura 58 - Massimi di concentrazione in superficie [mg/l] a seguito della realizzazione dei pali in area P3 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi estivi

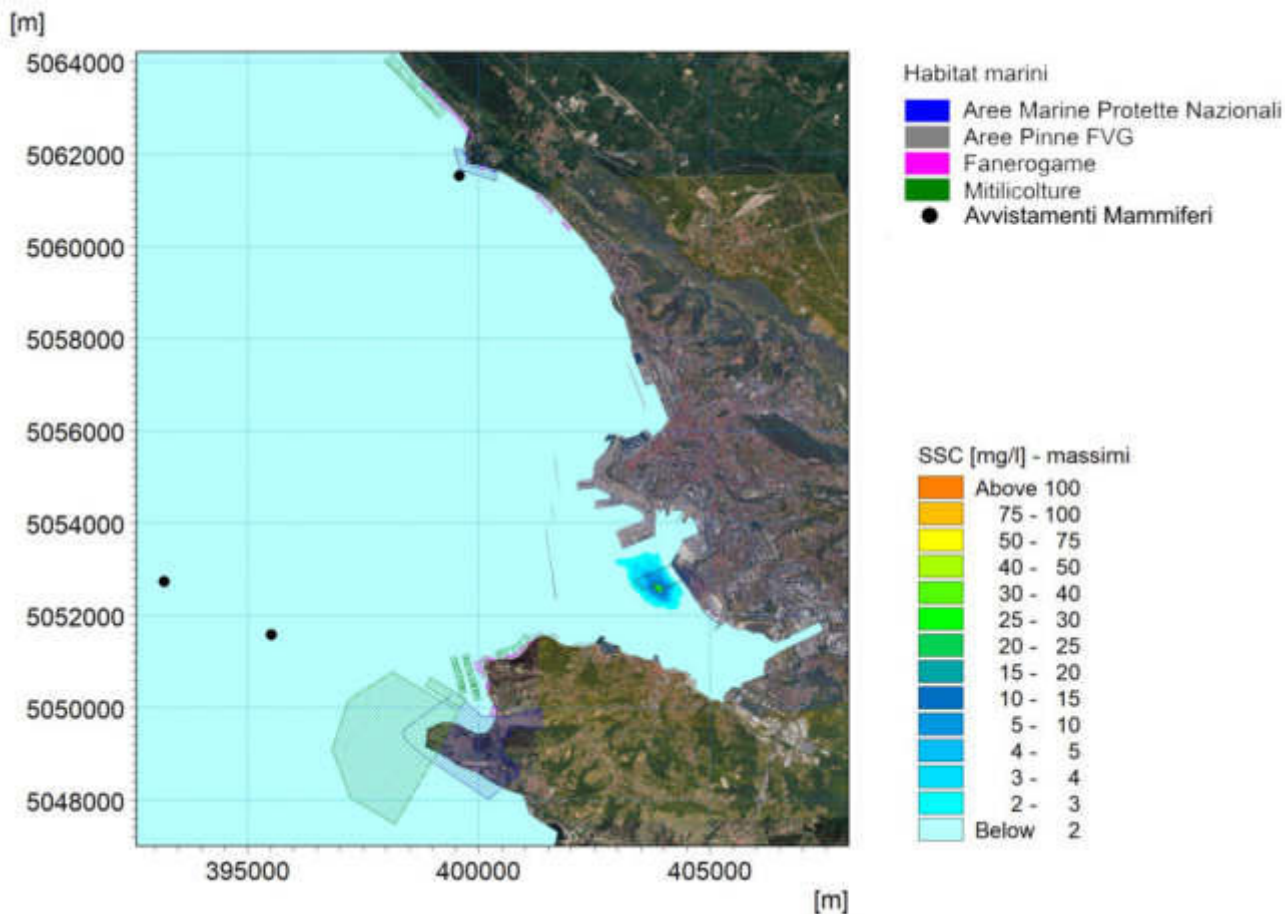


Figura 59 - Massimi di concentrazione a meta' colonna d'acqua [mg/l] a seguito della realizzazione dei pali in area P3 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi estivi

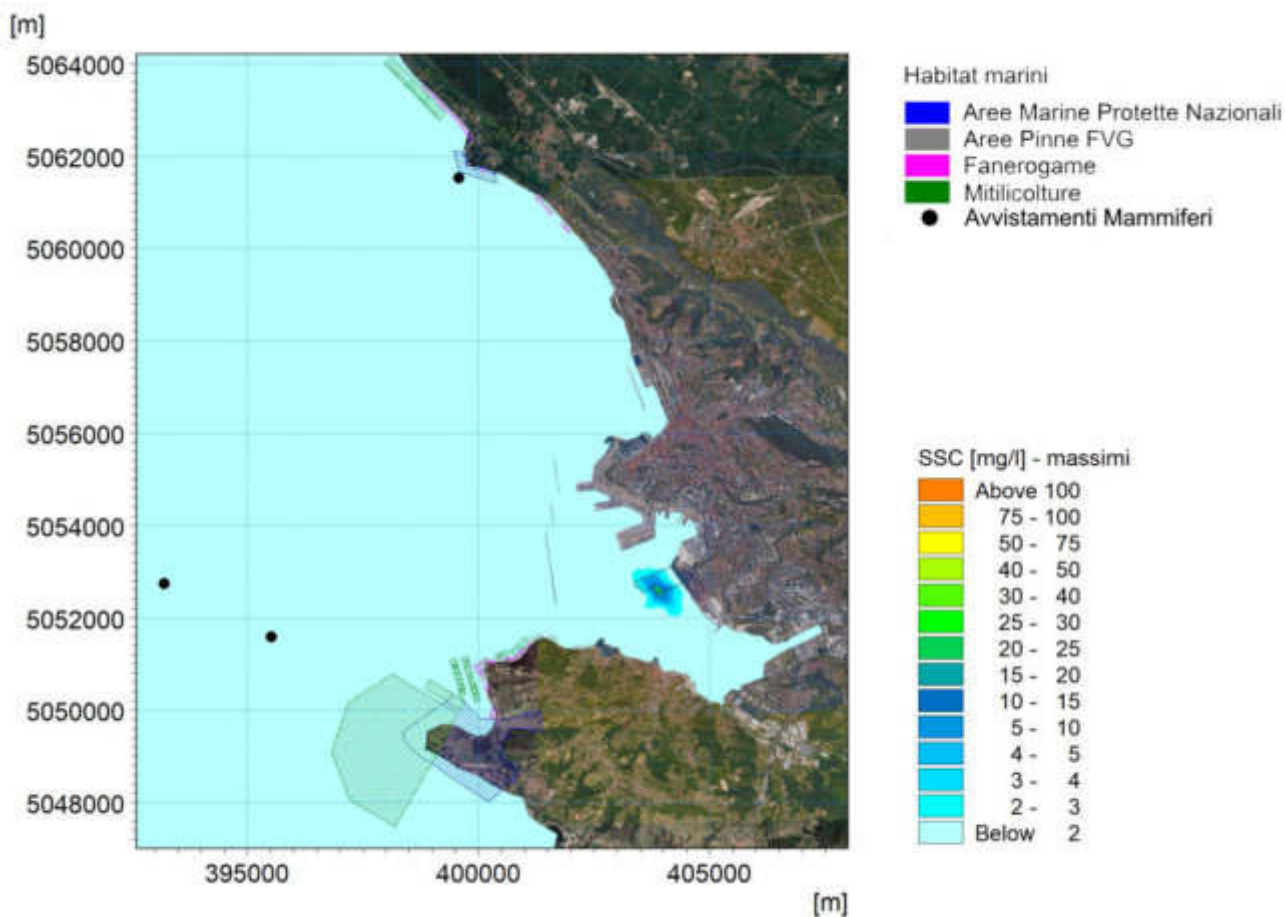


Figura 60 - Massimi di concentrazione al fondo [mg/l] a seguito della realizzazione dei pali in area P3 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi estivi

# PERSISTENZA DI CONCENTRAZIONE DEL SEDIMENTO IN SOSPENSIONE DA REALIZZAZIONE PALI

Mappe rappresentative dei tempi di persistenza di concentrazioni in sospensione superiori a 2 mg/l (in superficie, a meta' colonna e al fondo) di sedimento, ottenuto come media dei tempi ottenuti per ciascuna simulazione; le mappe fanno riferimento all'intero anno e alle singole stagioni

## CONDIZIONE ANNUALE

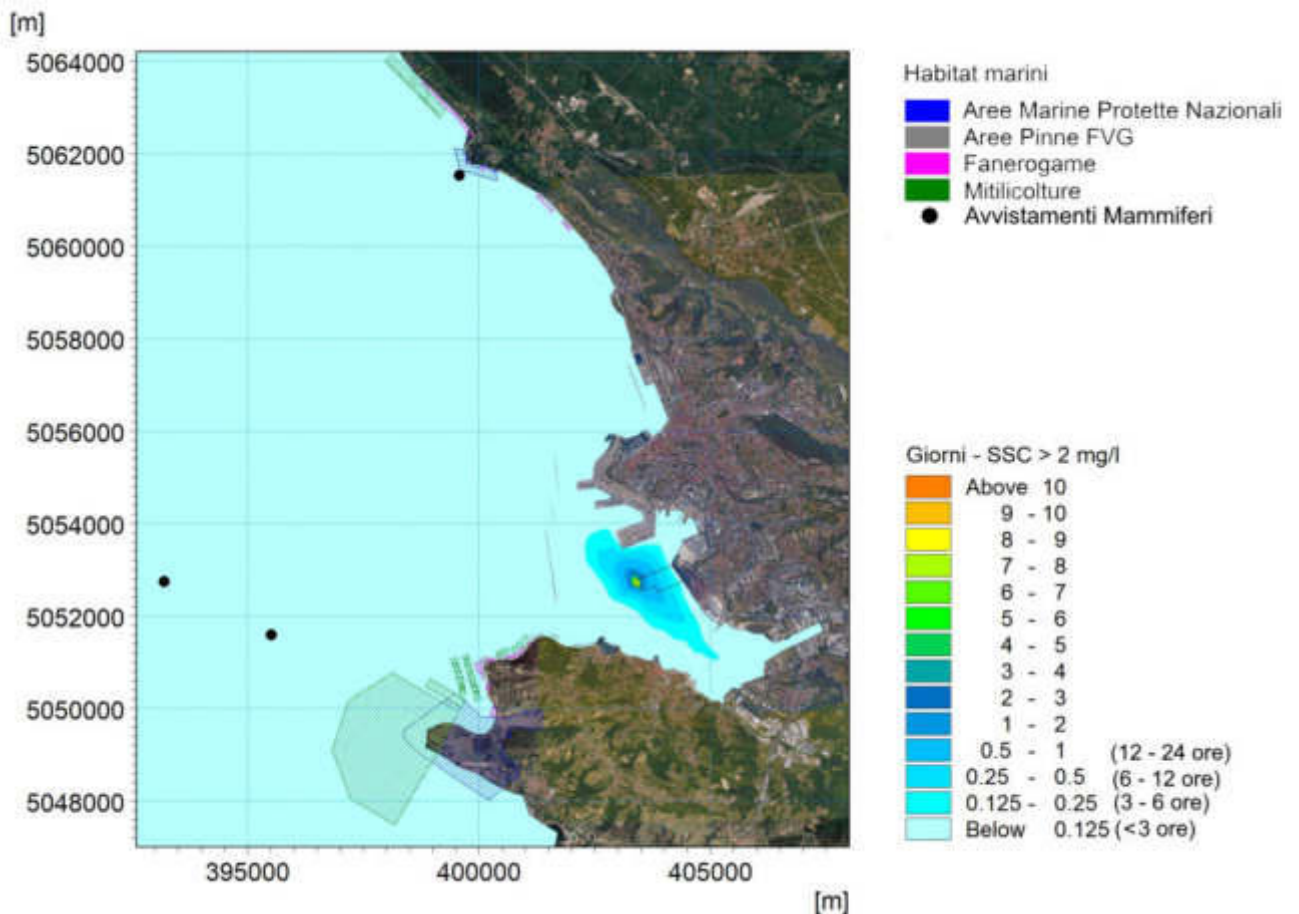


Figura 61 - Tempo di persistenza in giorni di concentrazione superiore a 2 mg/l in superficie a seguito della realizzazione dei pali in area P1 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate

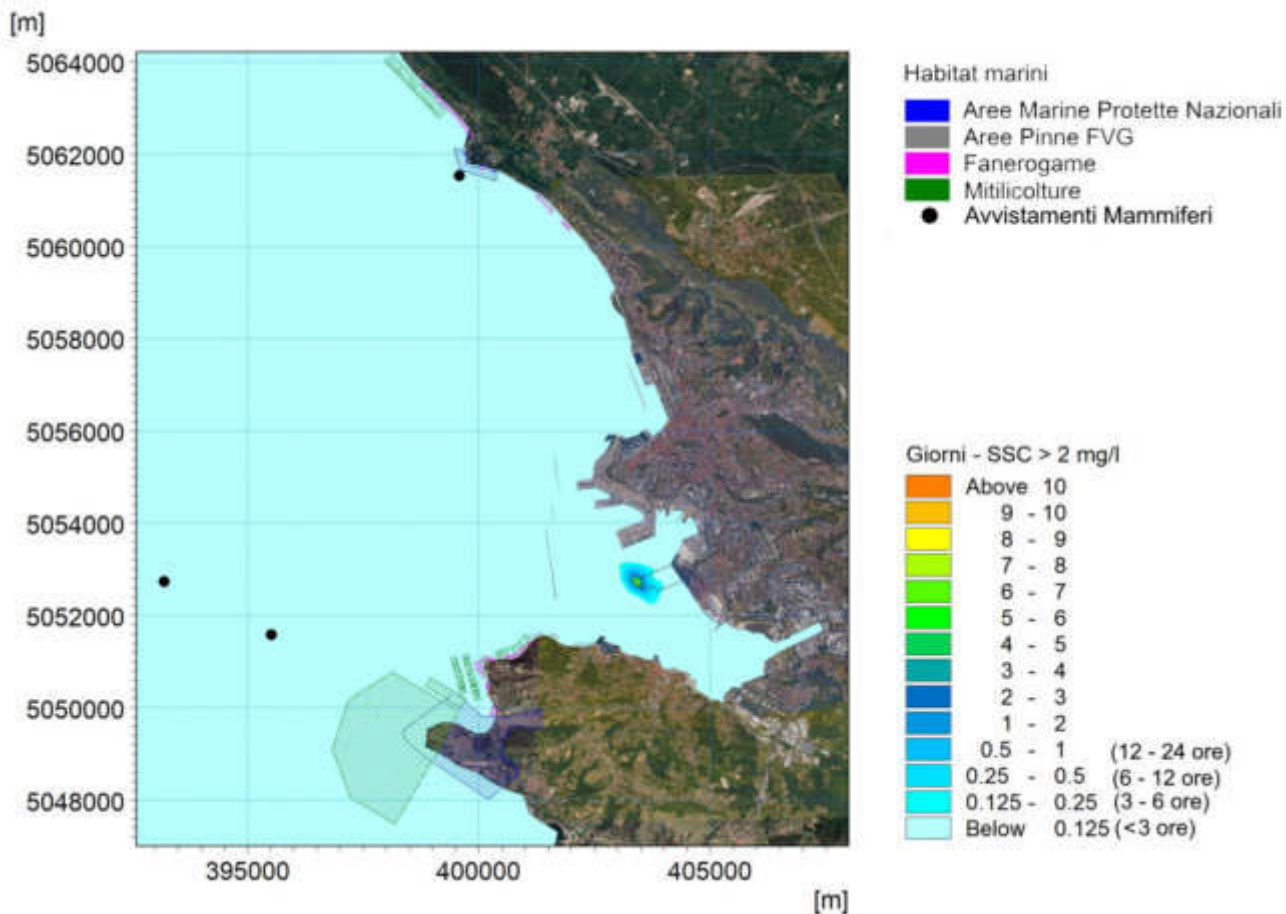


Figura 62 - Tempo di persistenza in giorni di concentrazione superiore a 2 mg/l a meta' colonna a seguito della realizzazione dei pali in area P1 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate

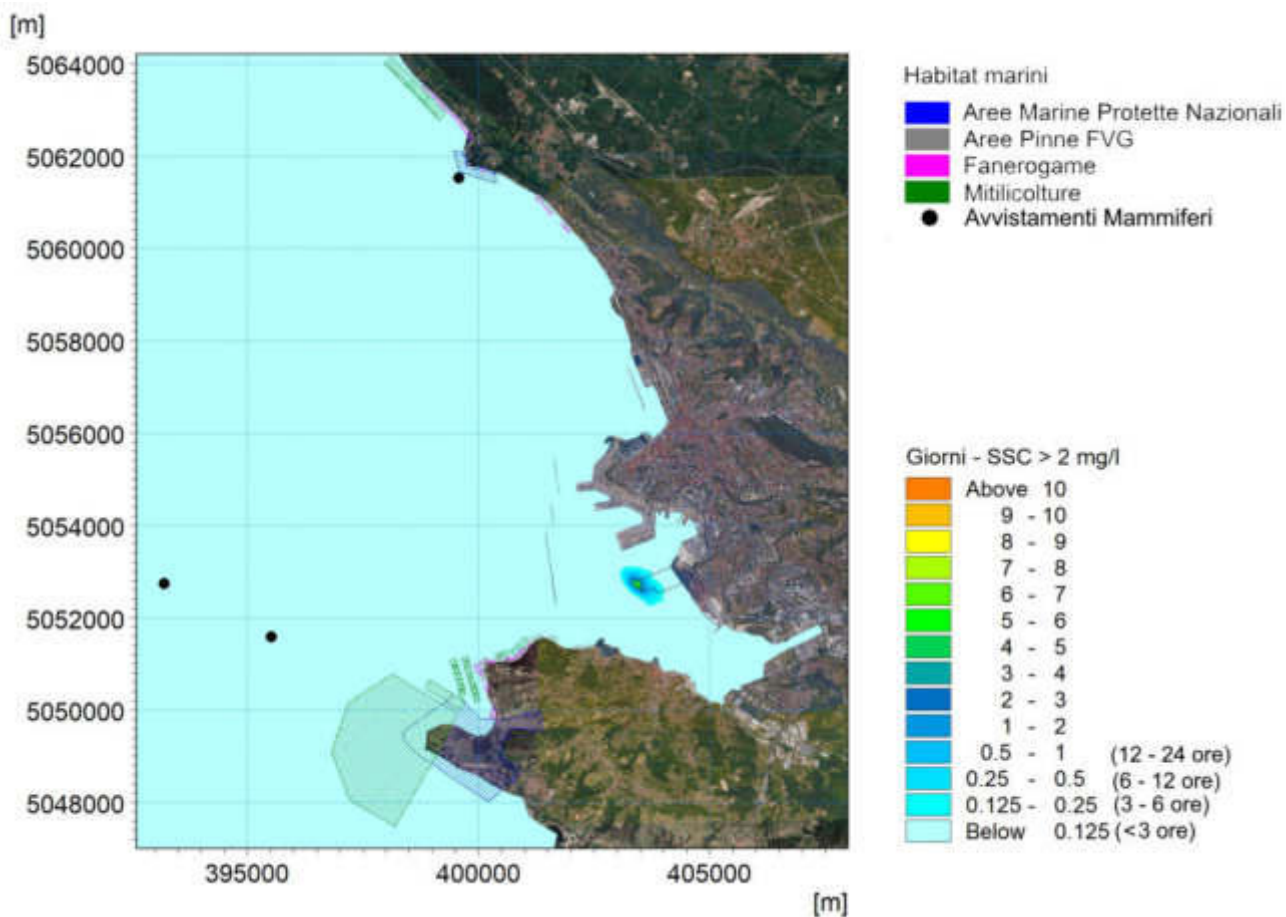


Figura 63 - Tempo di persistenza in giorni di concentrazione superiore a 2 mg/l al fondo a seguito della realizzazione dei pali in area P1 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate



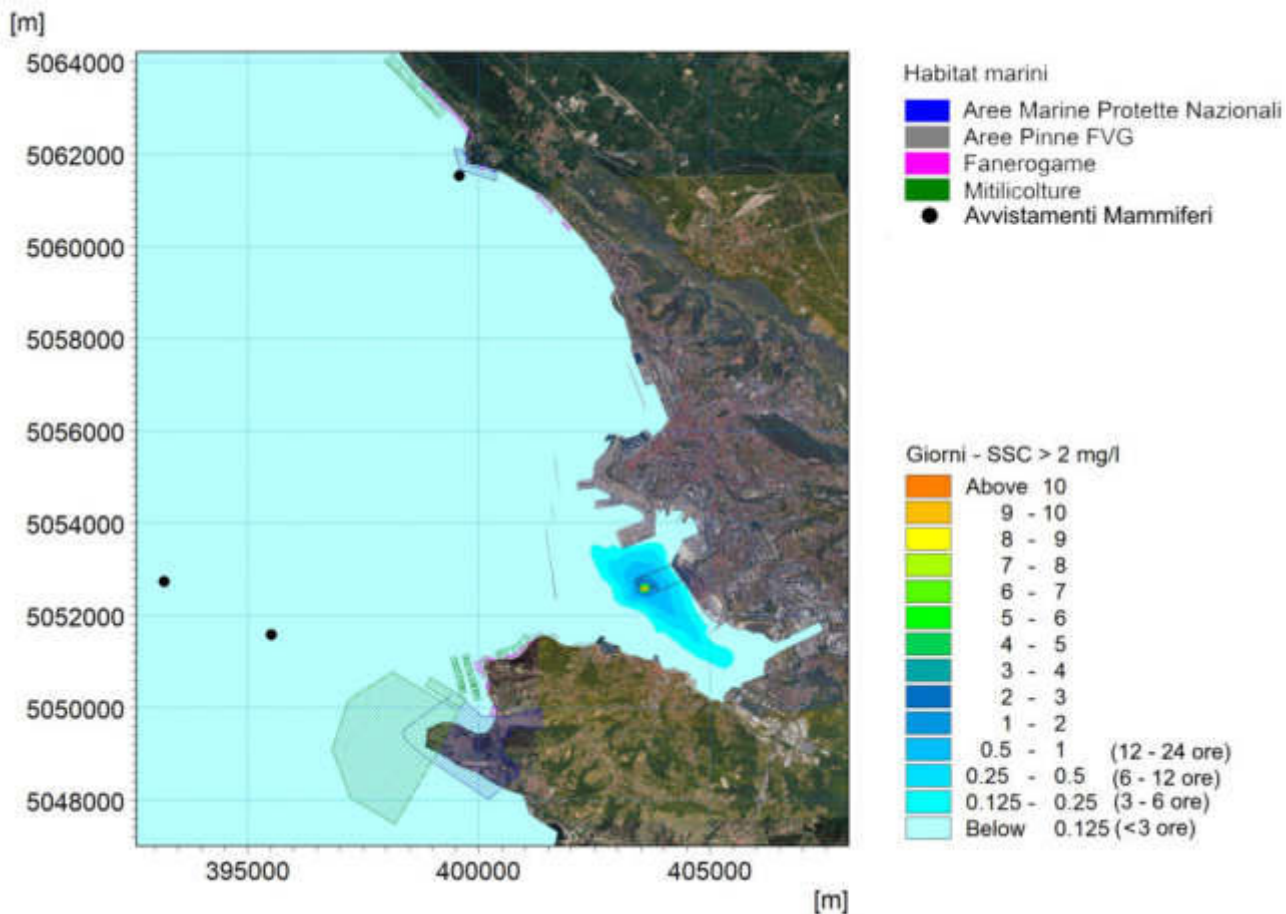


Figura 64 - Tempo di persistenza in giorni di concentrazione superiore a 2 mg/l in superficie a seguito della realizzazione dei pali in area P2 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate

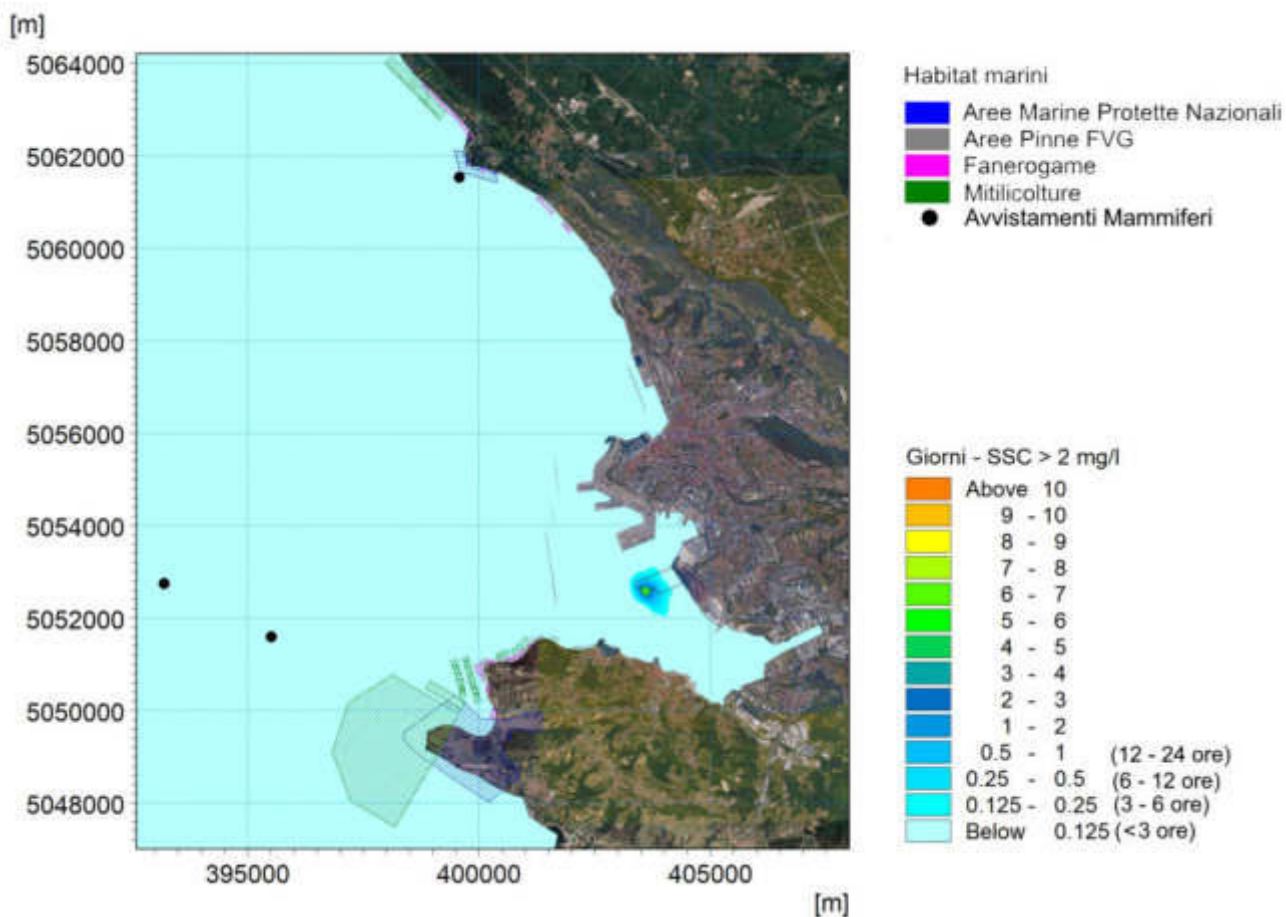


Figura 65 - Tempo di persistenza in giorni di concentrazione superiore a 2 mg/l a meta' colonna a seguito della realizzazione dei pali in area P2 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate

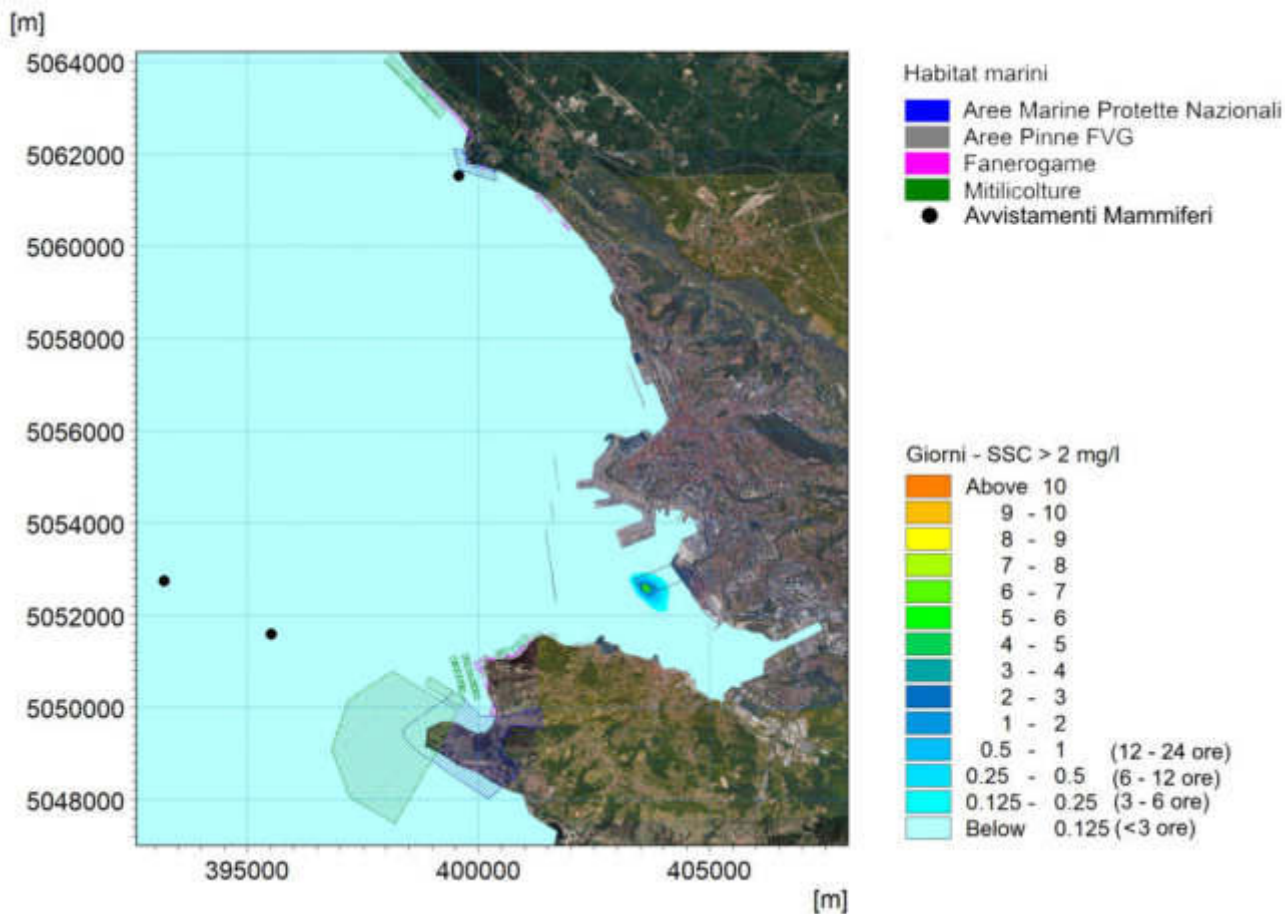


Figura 66 - Tempo di persistenza in giorni di concentrazione superiore a 2 mg/l al fondo a seguito della realizzazione dei pali in area P2 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate

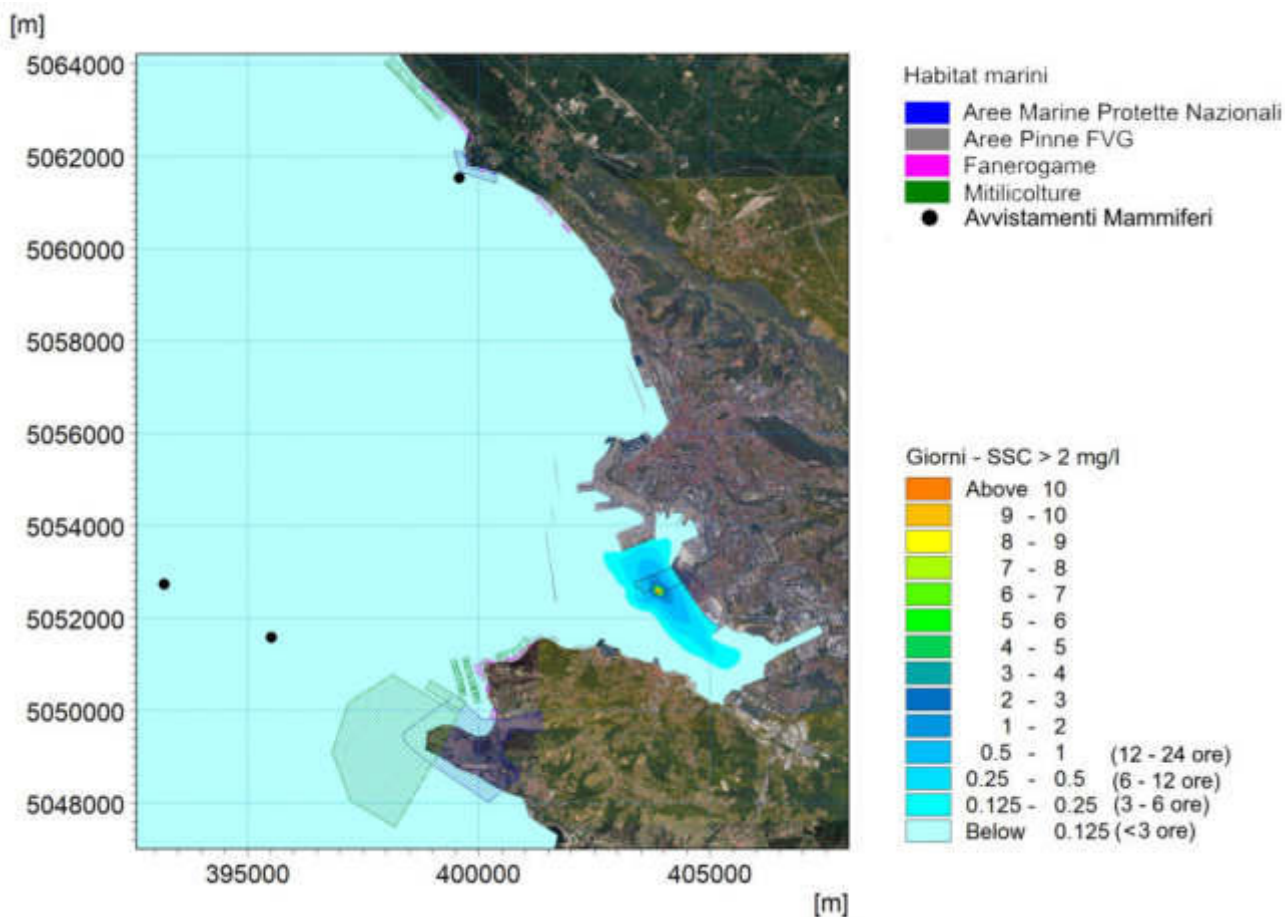


Figura 67 - Tempo di persistenza in giorni di concentrazione superiore a 2 mg/l in superficie a seguito della realizzazione dei pali in area P3 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate

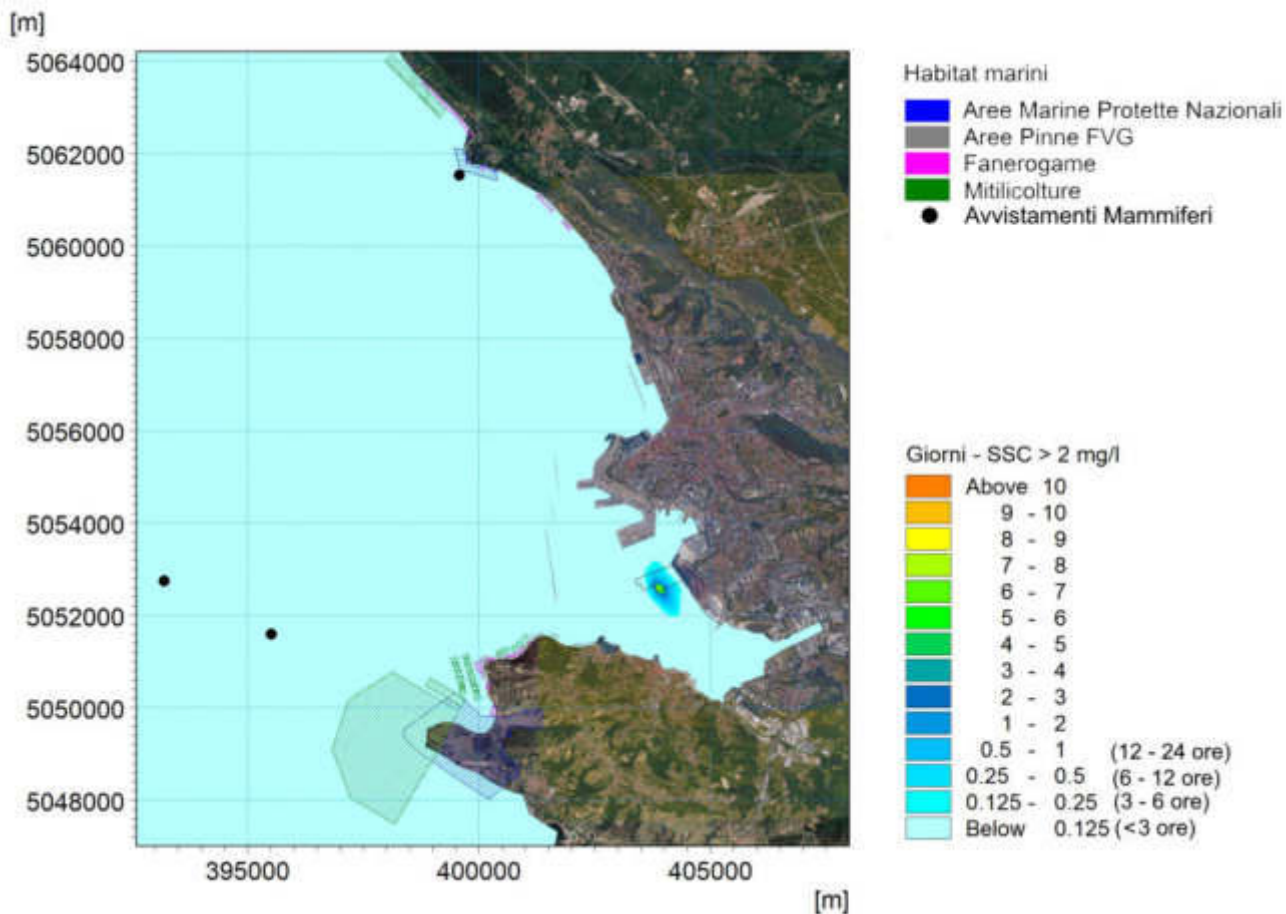


Figura 68 - Tempo di persistenza in giorni di concentrazione superiore a 2 mg/l a meta' colonna a seguito della realizzazione dei pali in area P3 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate

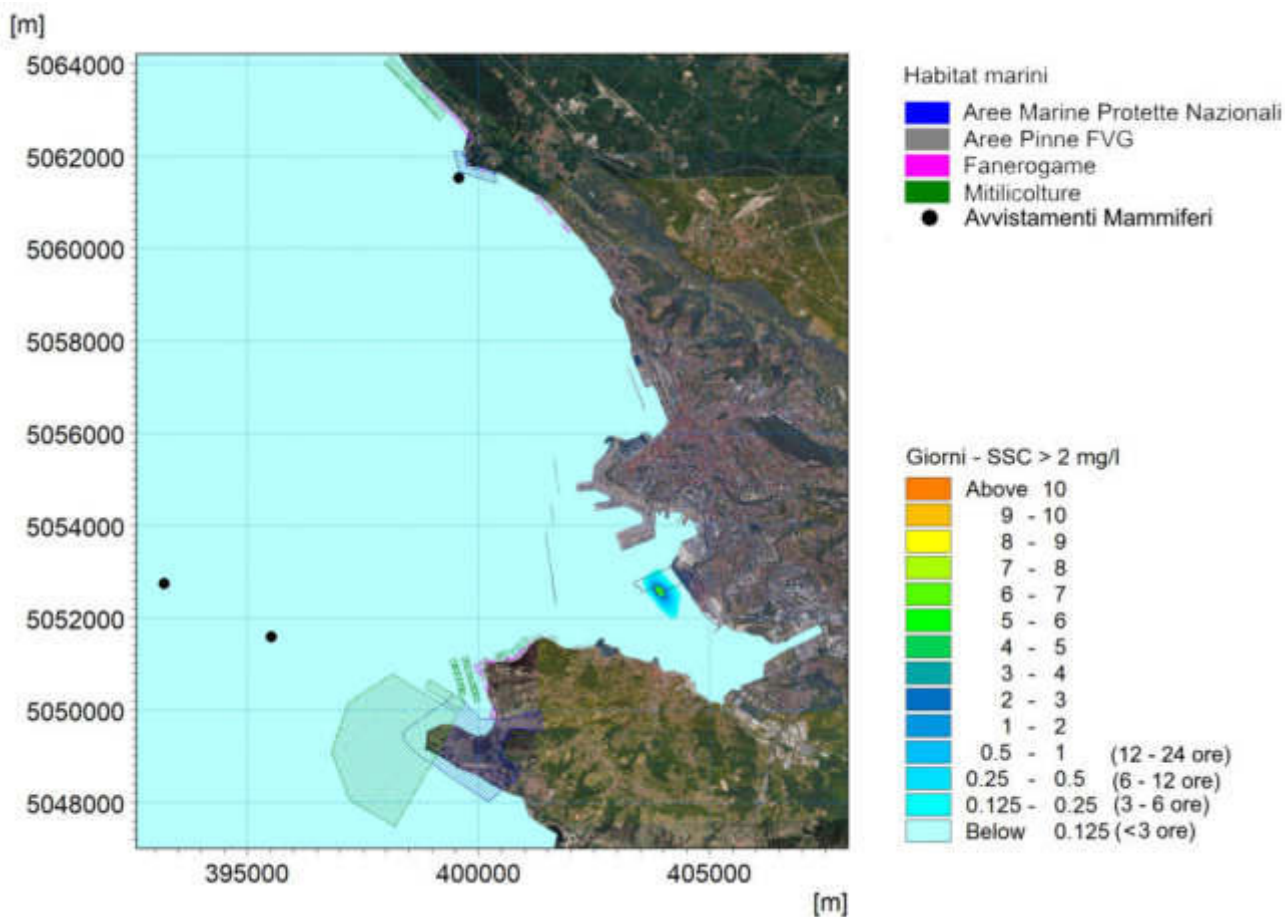


Figura 69 - Tempo di persistenza in giorni di concentrazione superiore a 2 mg/l al fondo a seguito della realizzazione dei pali in area P3 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate

# CONDIZIONE AUTUNNALE

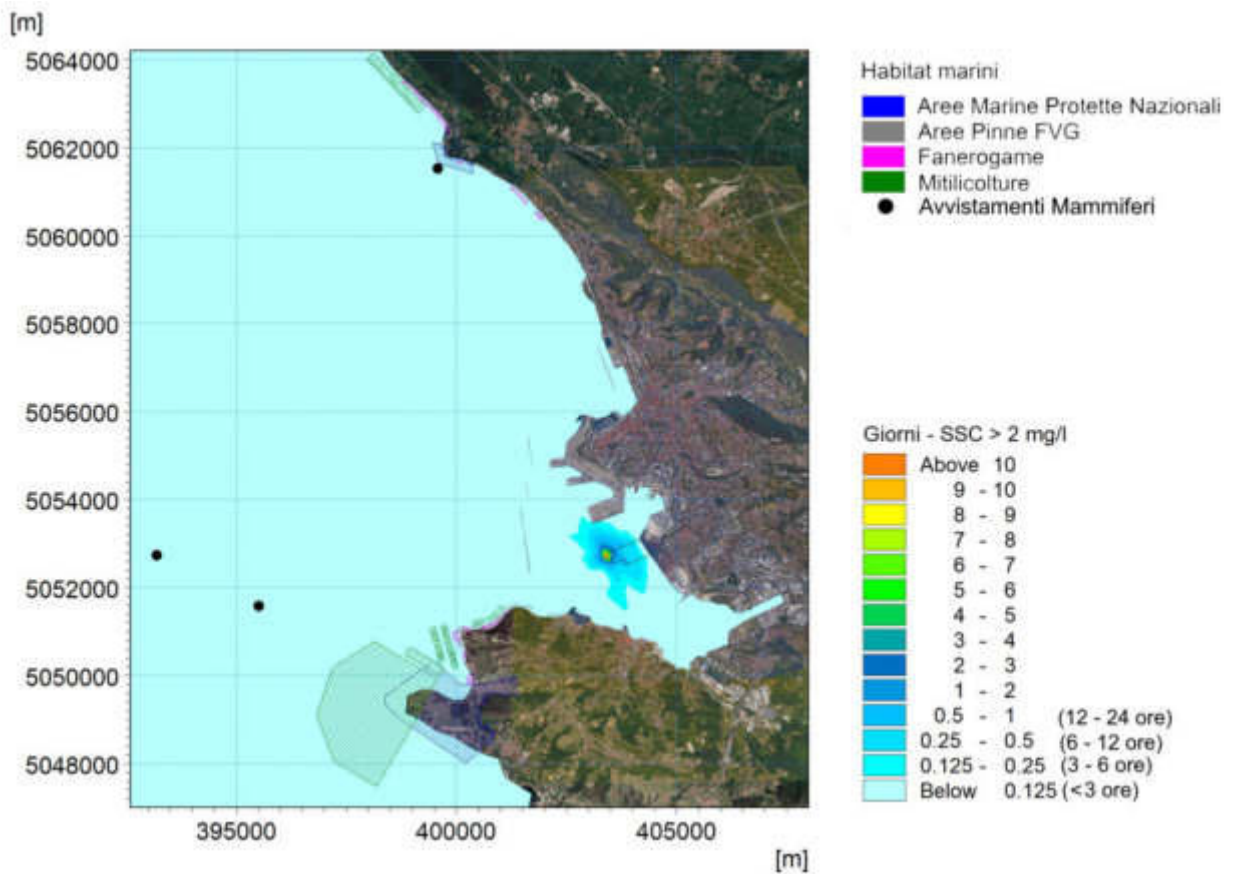


Figura 70 - Tempo di persistenza in giorni di concentrazione superiore a 2 mg/l in superficie a seguito della realizzazione dei pali in area P1 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi autunnali

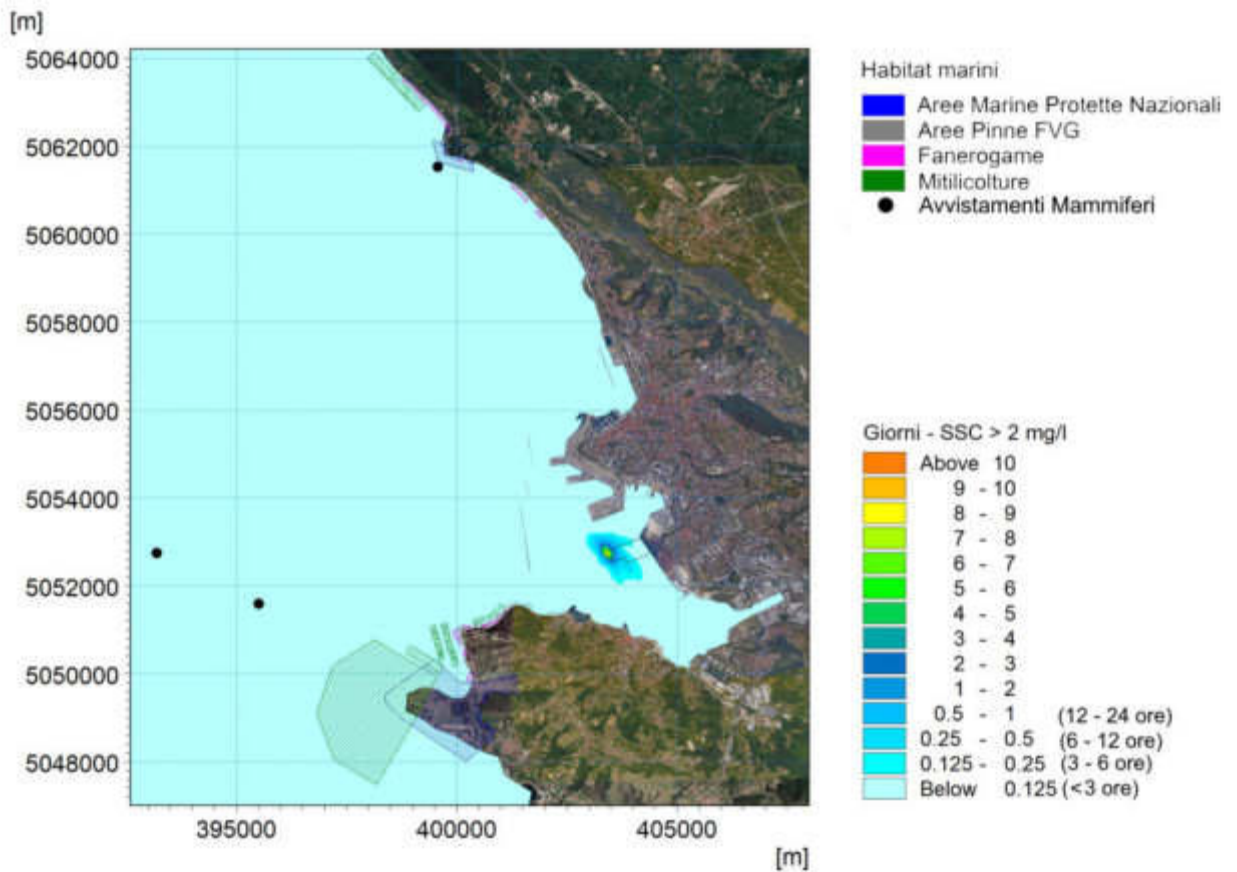


Figura 71 - Tempo di persistenza in giorni di concentrazione superiore a 2 mg/l a meta' colonna a seguito della realizzazione dei pali in area P1 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi autunnali

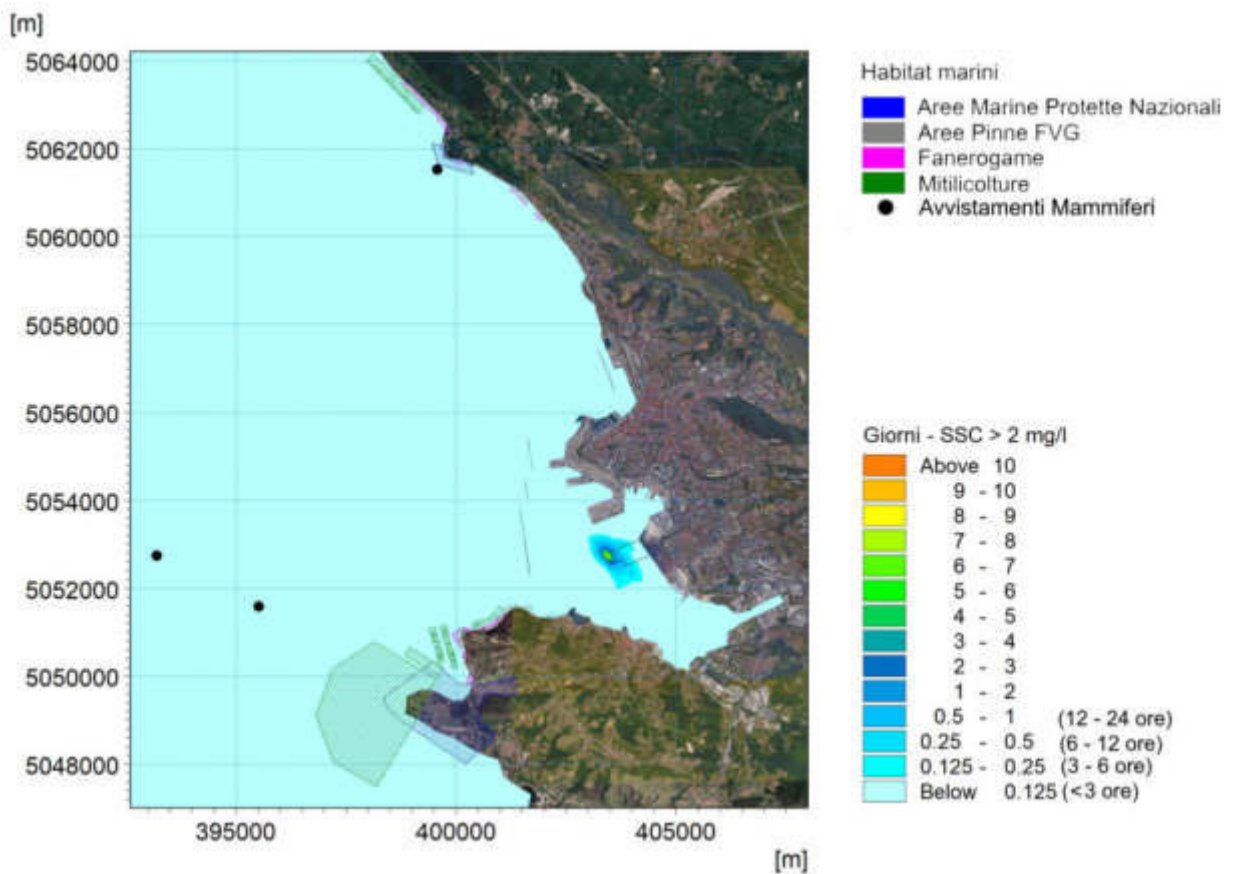


Figura 72 - Tempo di persistenza in giorni di concentrazione superiore a 2 mg/l al fondo a seguito della realizzazione dei pali in area P1 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi autunnali

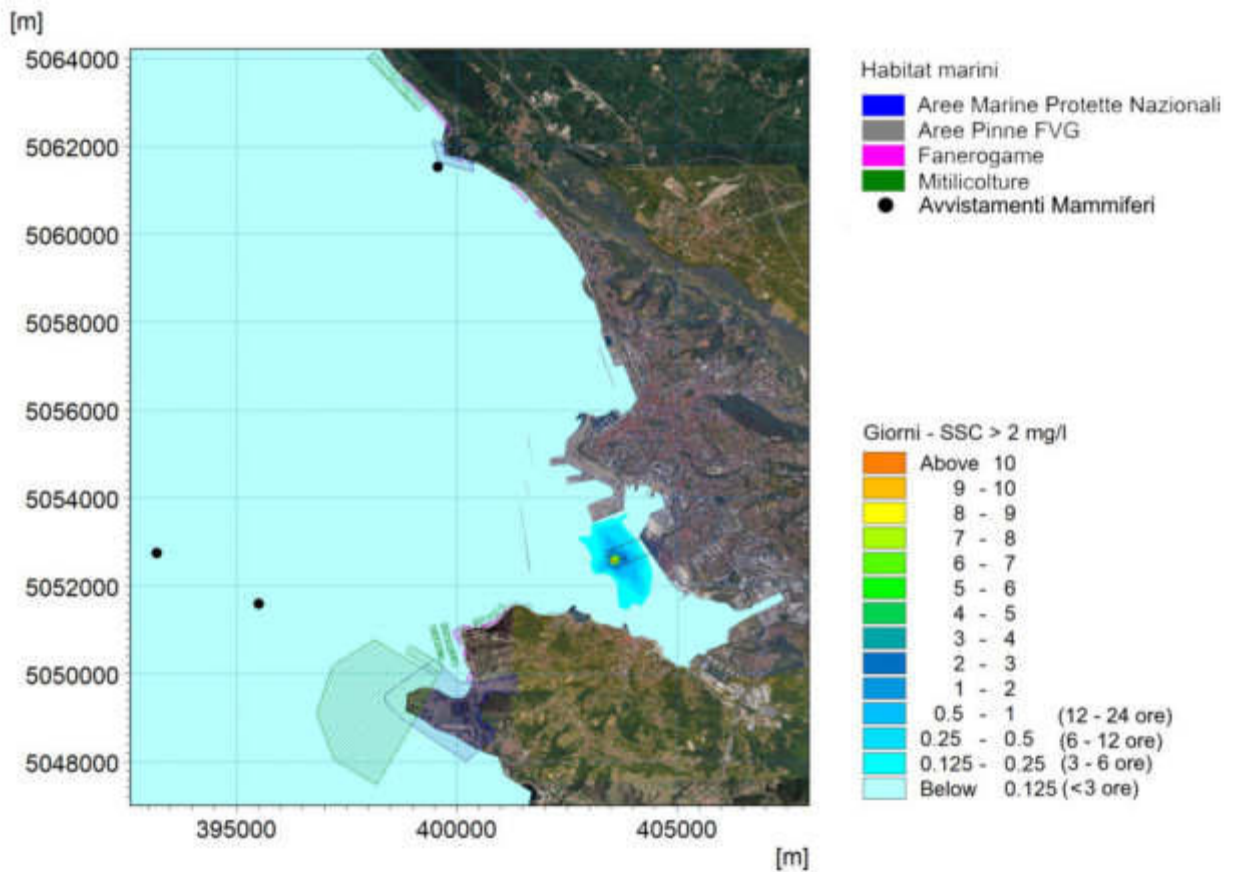


Figura 73 - Tempo di persistenza in giorni di concentrazione superiore a 2 mg/l in superficie a seguito della realizzazione dei pali in area P2 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi autunnali

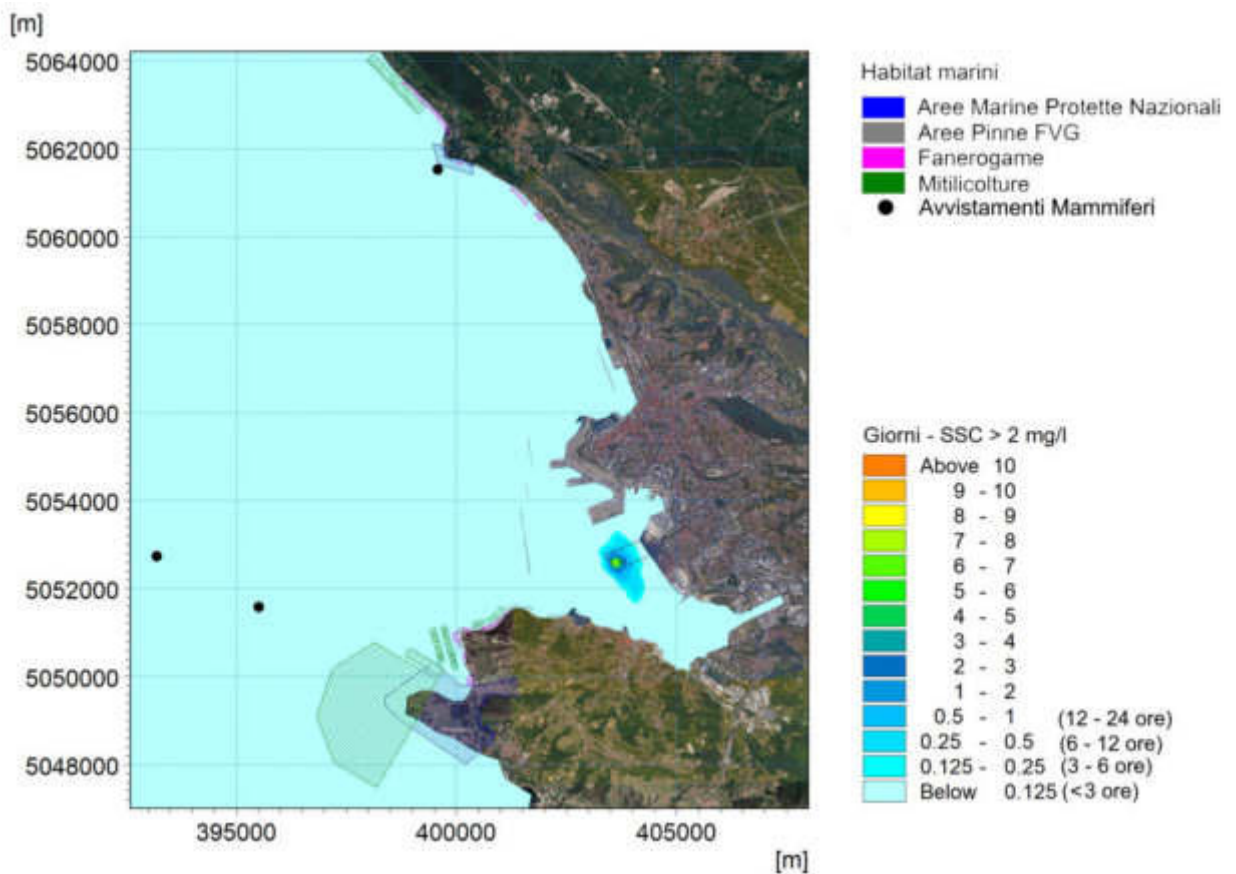


Figura 74 - Tempo di persistenza in giorni di concentrazione superiore a 2 mg/l a meta' colonna a seguito della realizzazione dei pali in area P2 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi autunnali

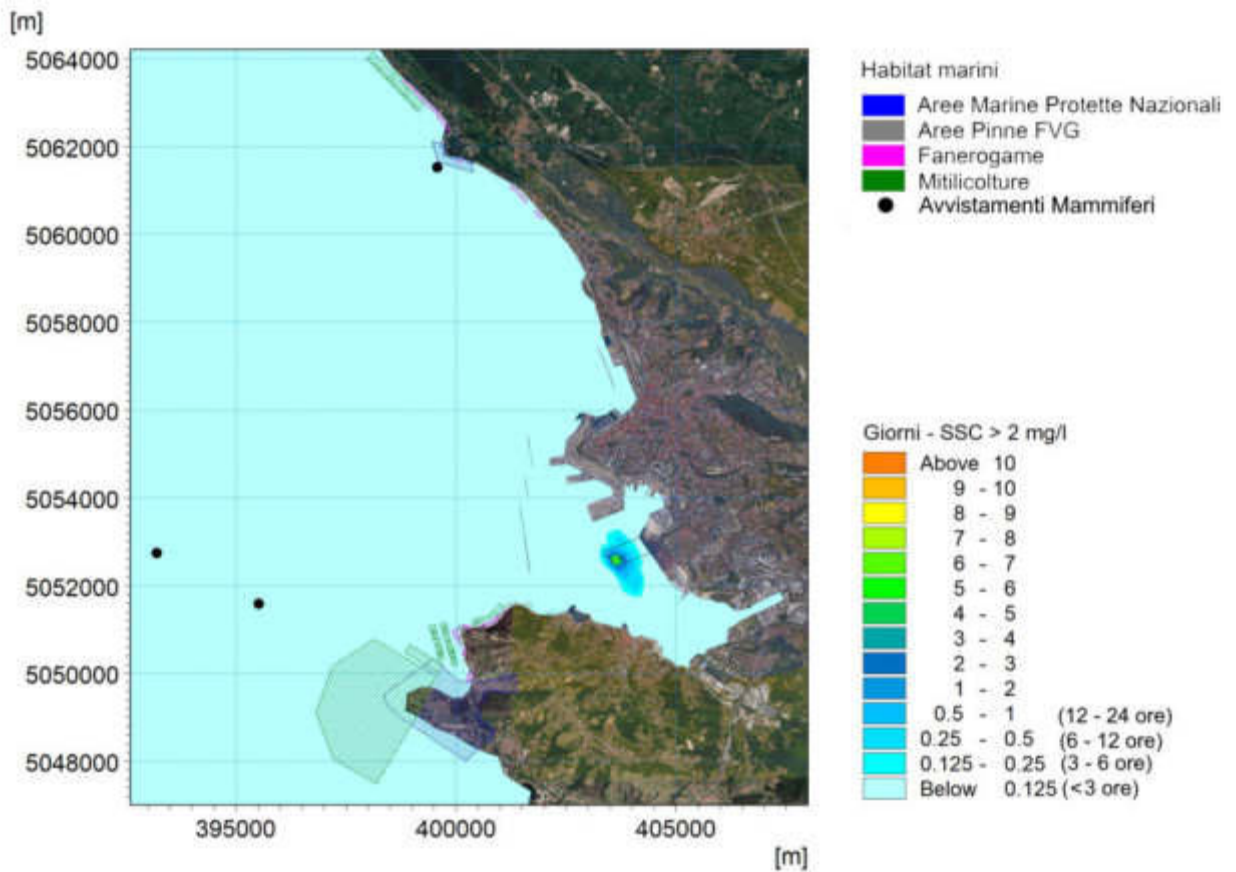


Figura 75 - Tempo di persistenza in giorni di concentrazione superiore a 2 mg/l al fondo a seguito della realizzazione dei pali in area P2 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi autunnali

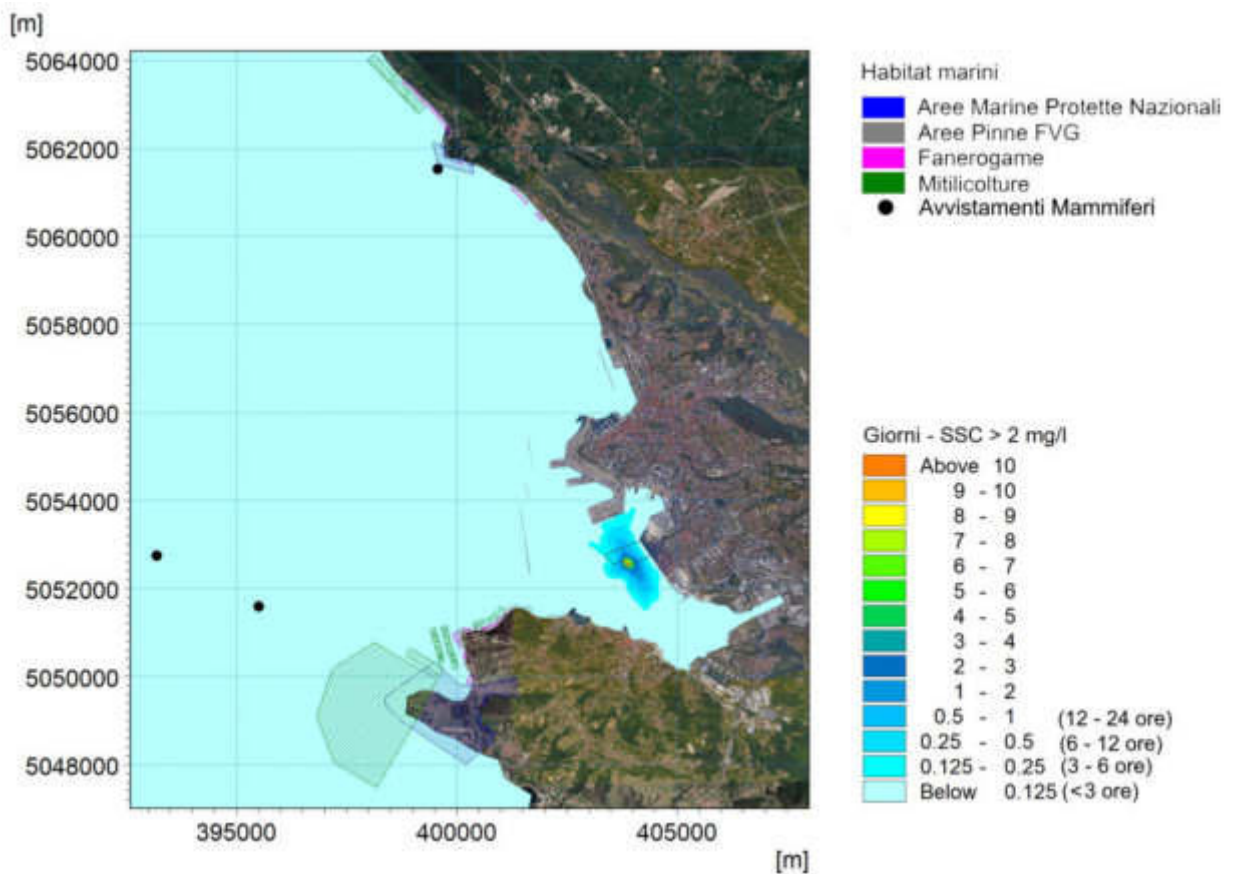


Figura 76 - Tempo di persistenza in giorni di concentrazione superiore a 2 mg/l in superficie a seguito della realizzazione dei pali in area P3 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi autunnali

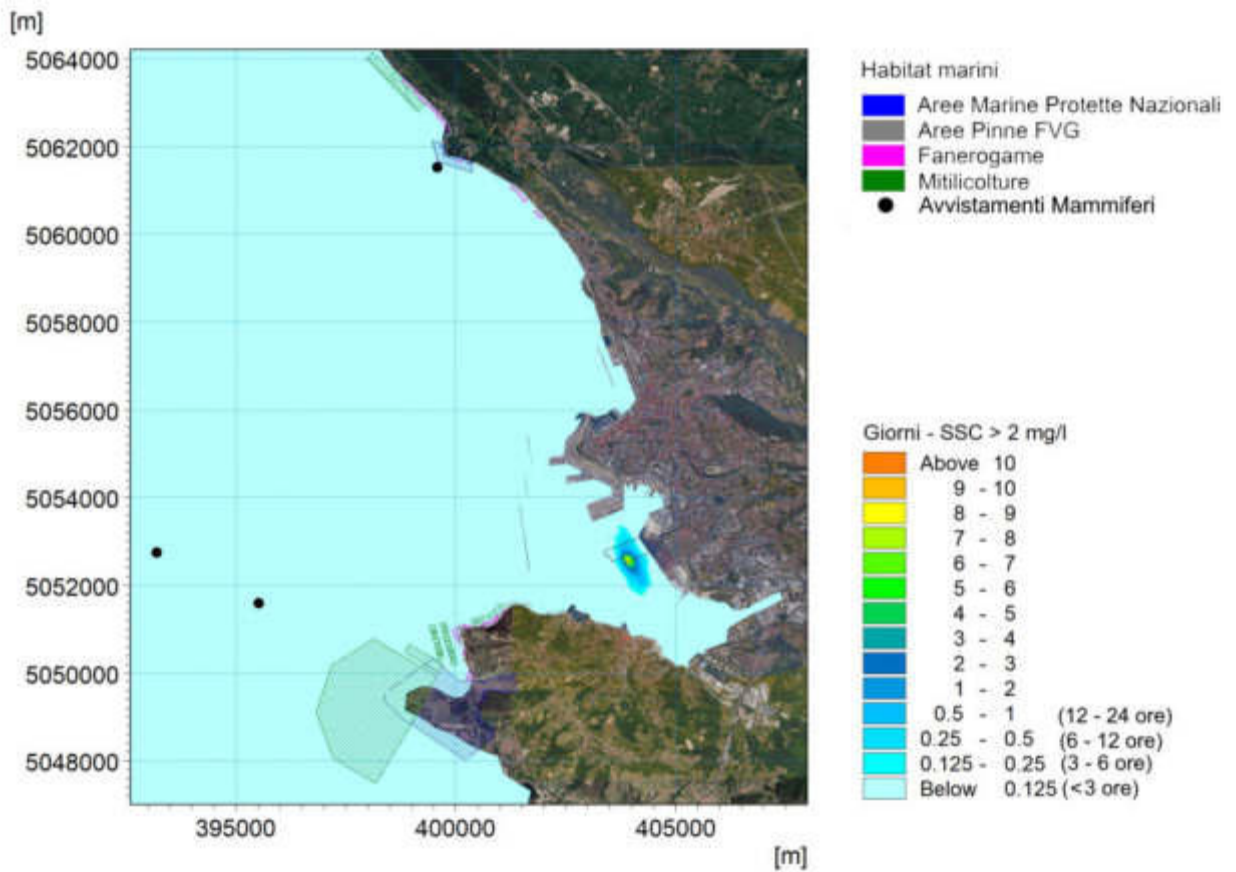


Figura 77 - Tempo di persistenza in giorni di concentrazione superiore a 2 mg/l a meta' colonna a seguito della realizzazione dei pali in area P3 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi autunnali

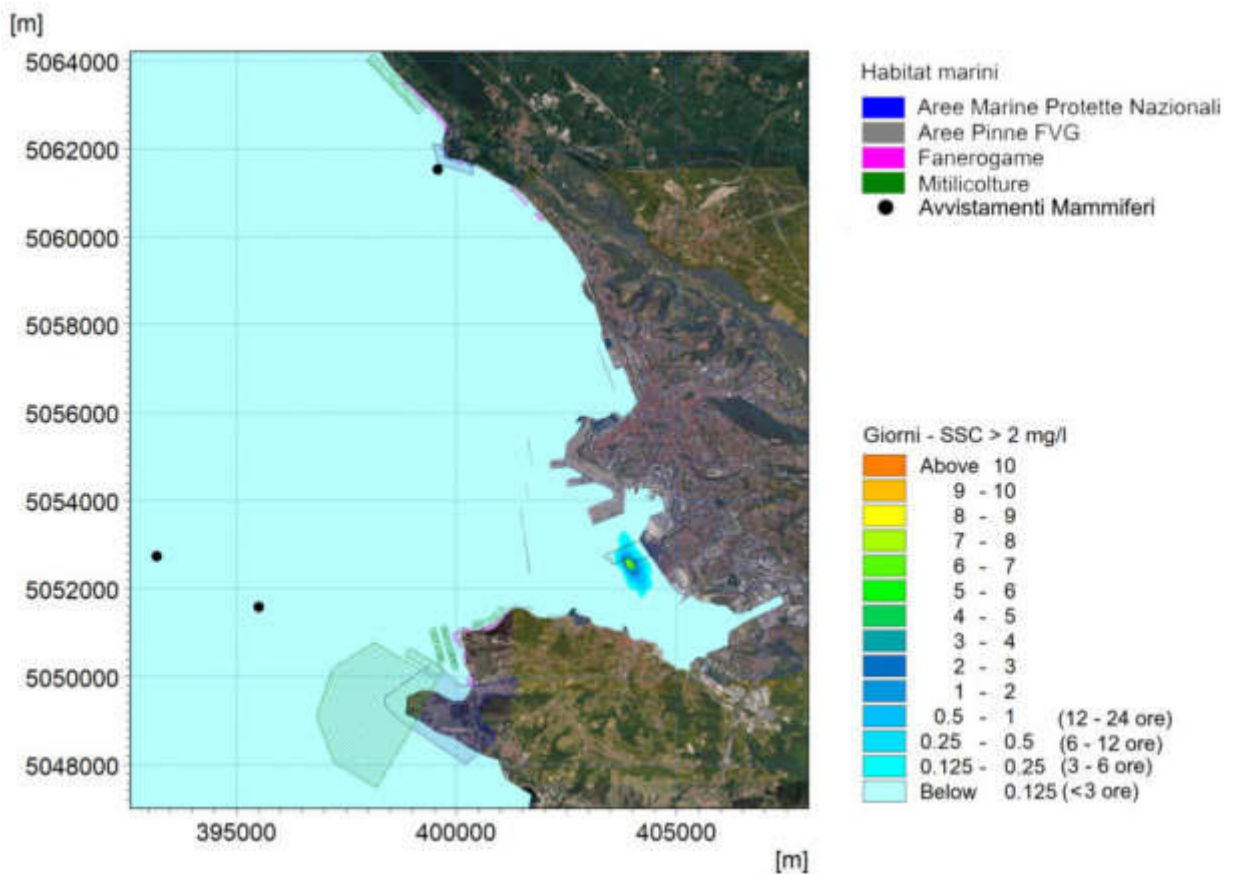


Figura 78 - Tempo di persistenza in giorni di concentrazione superiore a 2 mg/l al fondo a seguito della realizzazione dei pali in area P3 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi autunnali



# CONDIZIONE INVERNALE

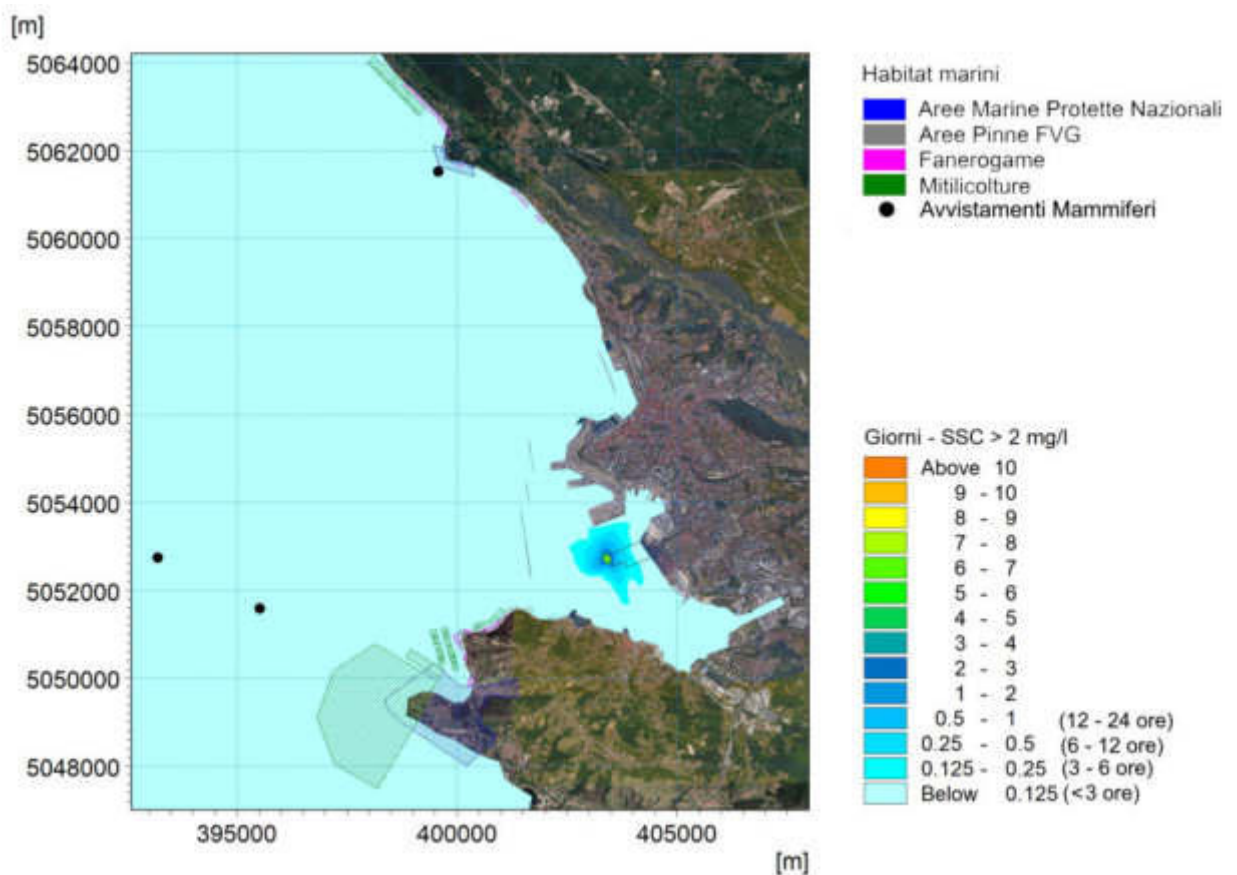


Figura 79 - Tempo di persistenza in giorni di concentrazione superiore a 2 mg/l in superficie a seguito della realizzazione dei pali in area P1 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi invernali

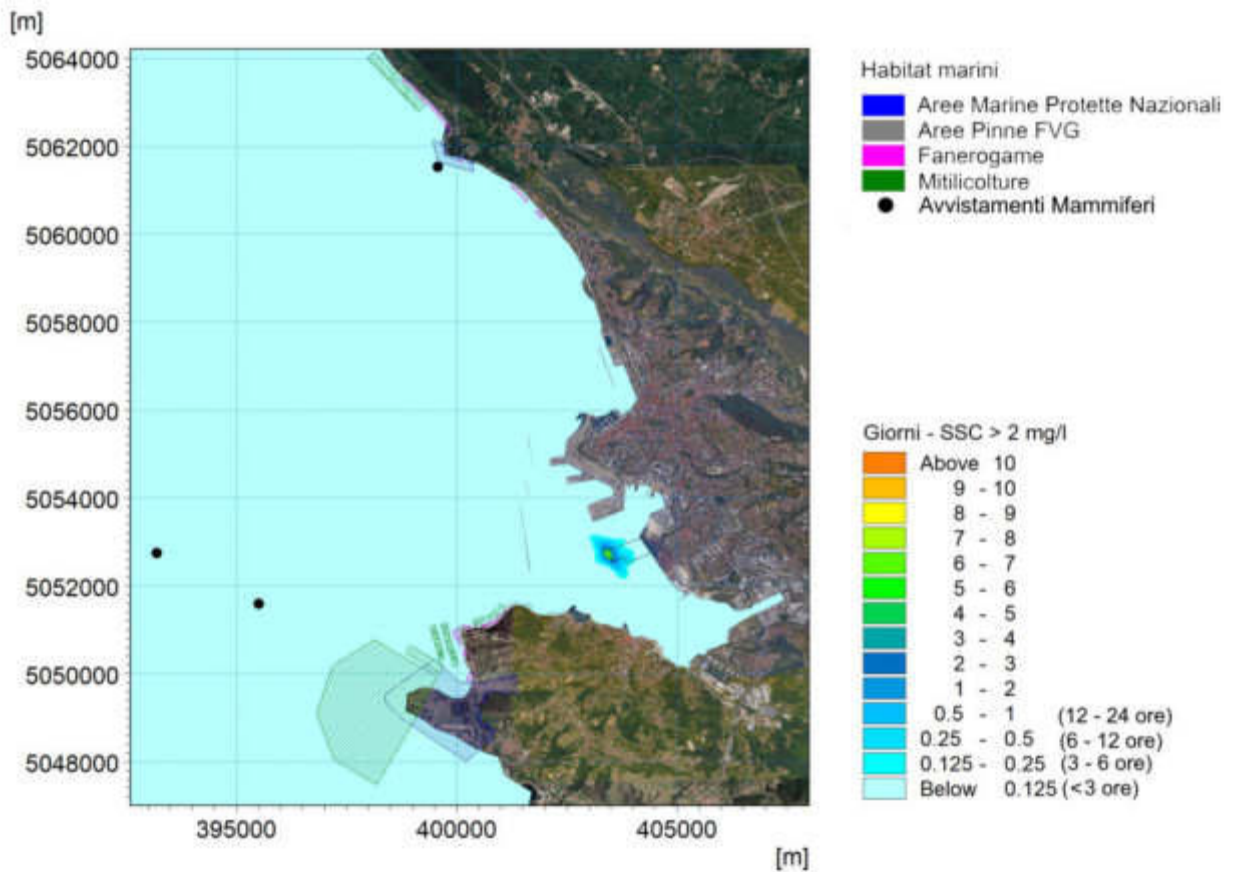


Figura 80 - Tempo di persistenza in giorni di concentrazione superiore a 2 mg/l a meta' colonna a seguito della realizzazione dei pali in area P1 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi invernali

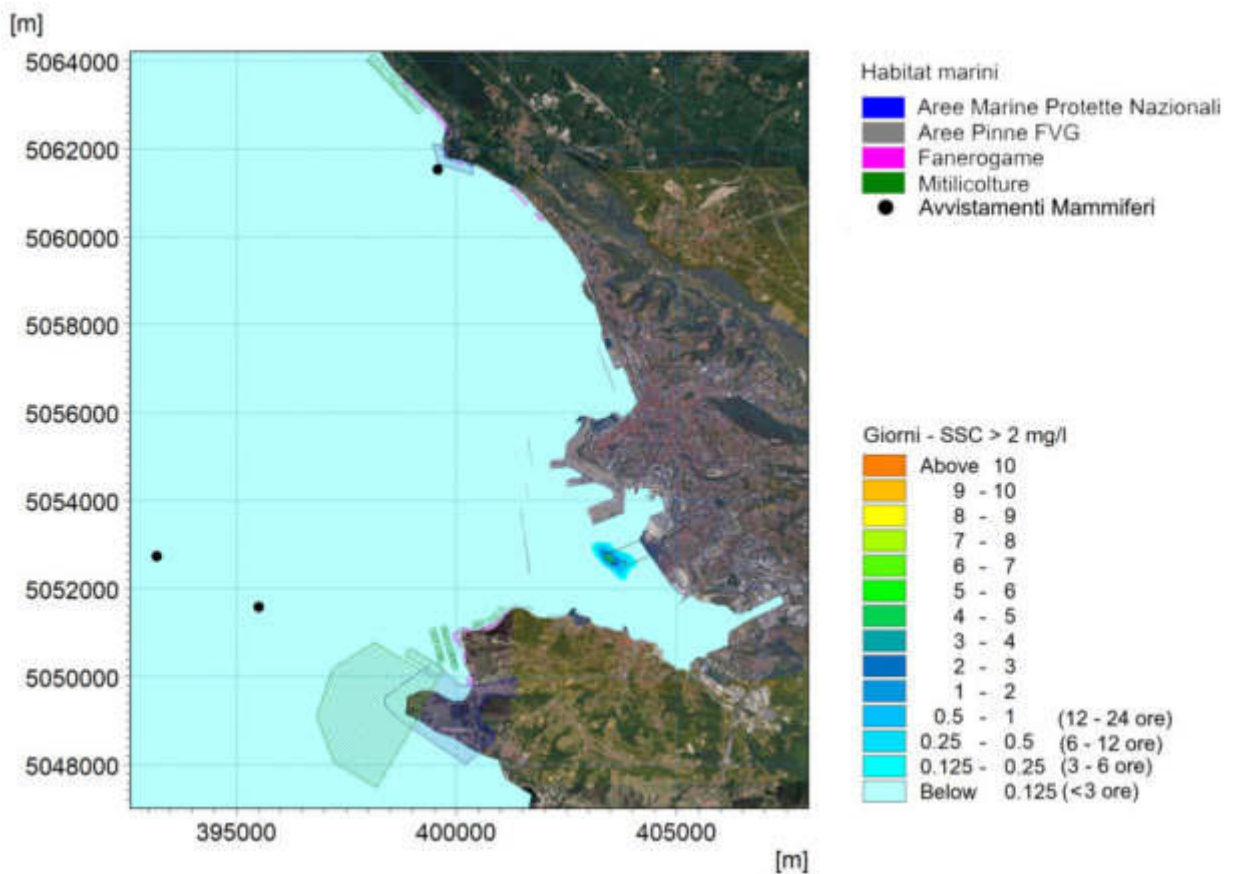


Figura 81 - Tempo di persistenza in giorni di concentrazione superiore a 2 mg/l al fondo a seguito della realizzazione dei pali in area P1 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi invernali

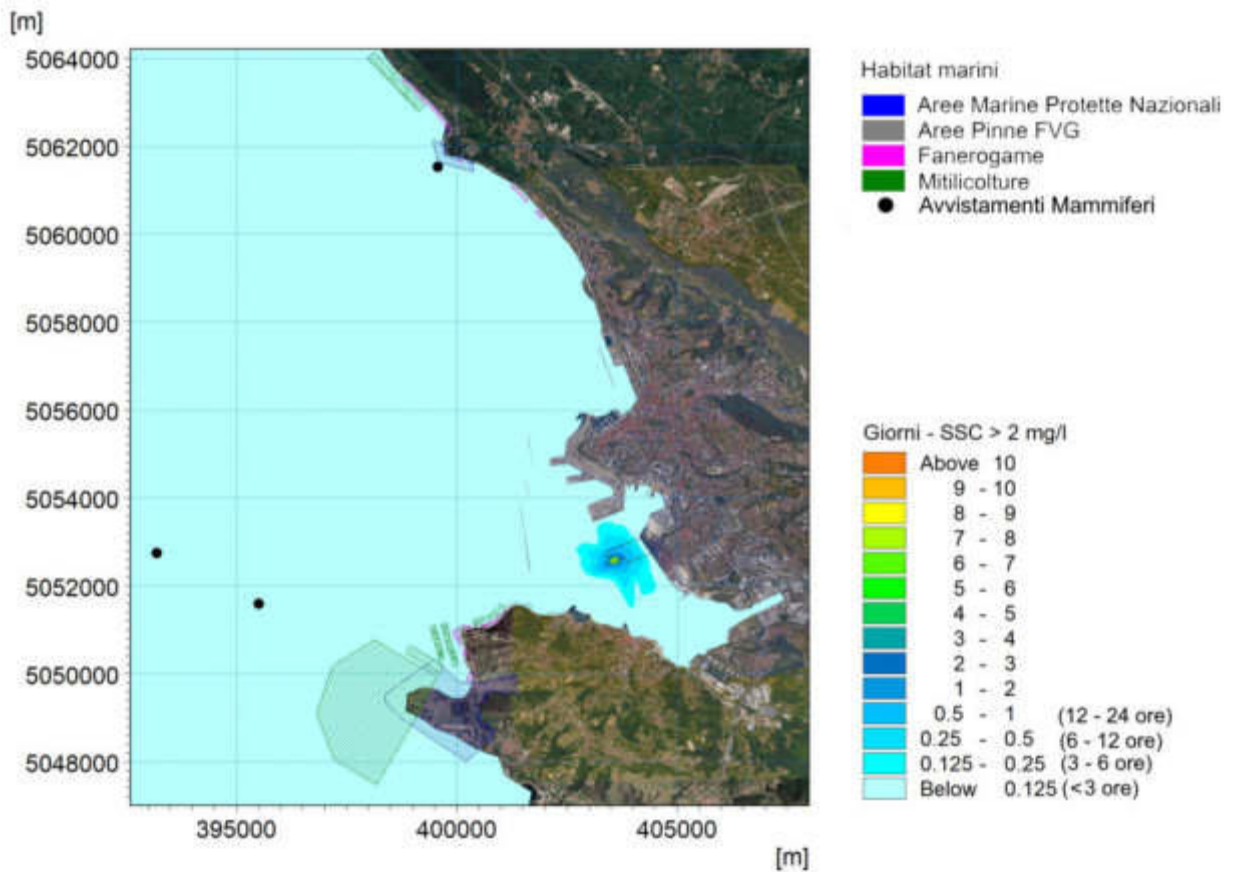


Figura 82 - Tempo di persistenza in giorni di concentrazione superiore a 2 mg/l in superficie a seguito della realizzazione dei pali in area P2 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi invernali

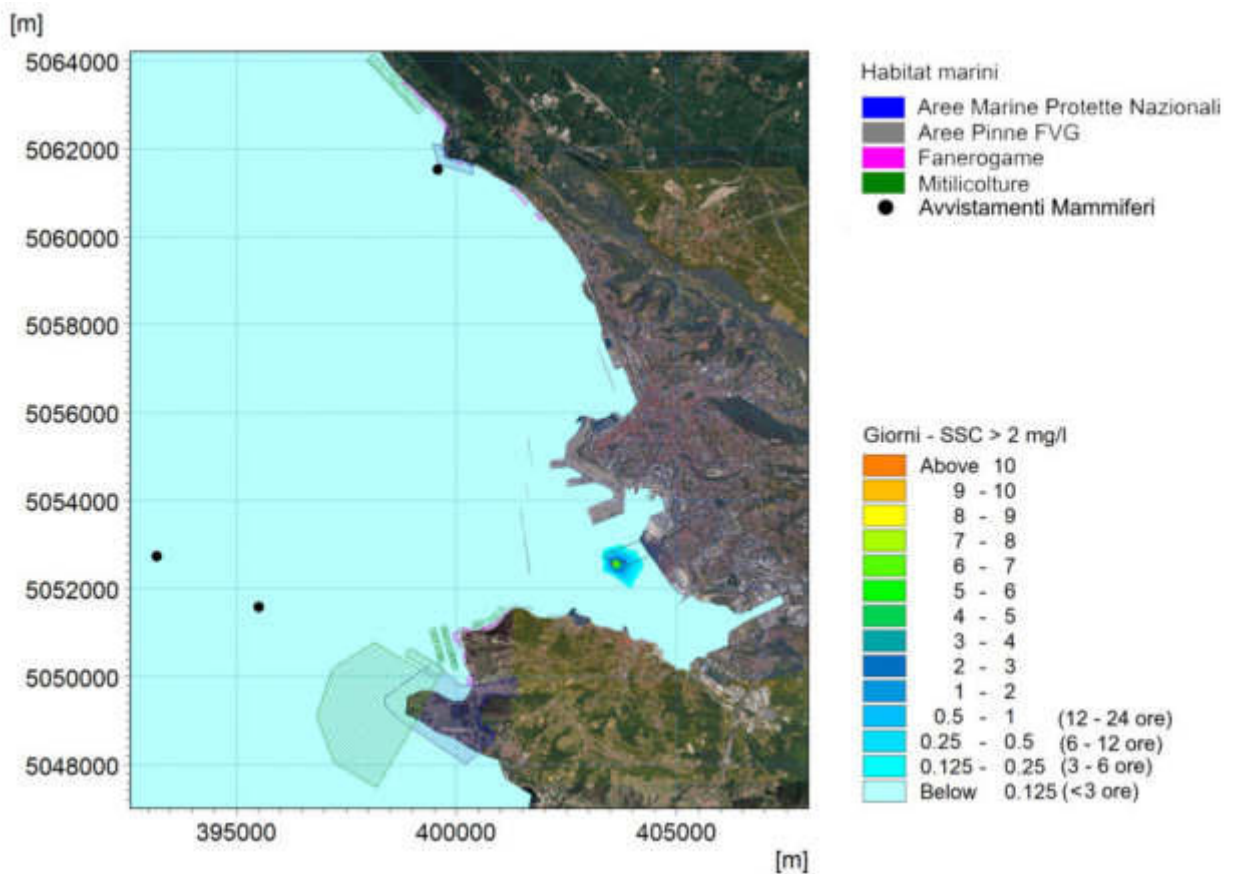


Figura 83 - Tempo di persistenza in giorni di concentrazione superiore a 2 mg/l a meta' colonna a seguito della realizzazione dei pali in area P2 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi invernali

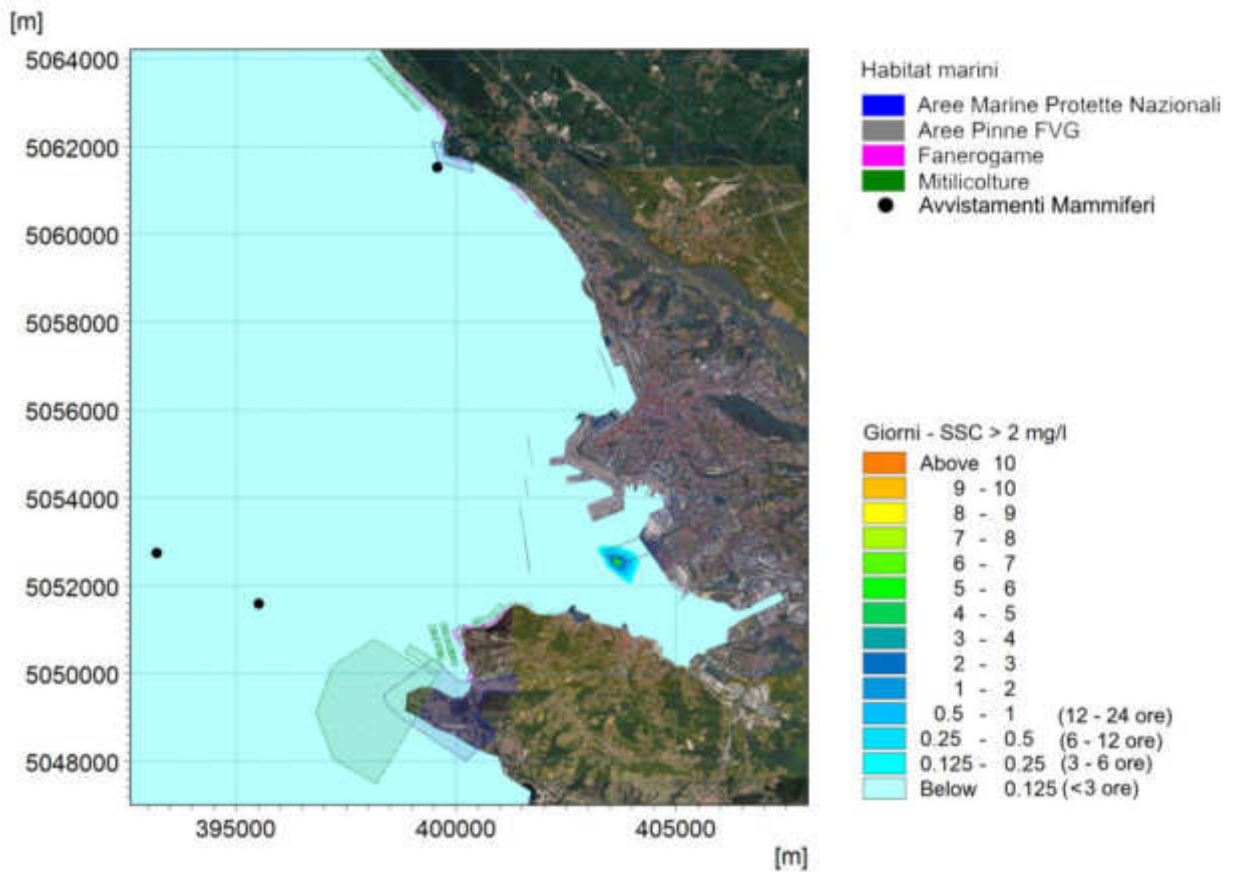


Figura 84 - Tempo di persistenza in giorni di concentrazione superiore a 2 mg/l al fondo a seguito della realizzazione dei pali in area P2 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi invernali

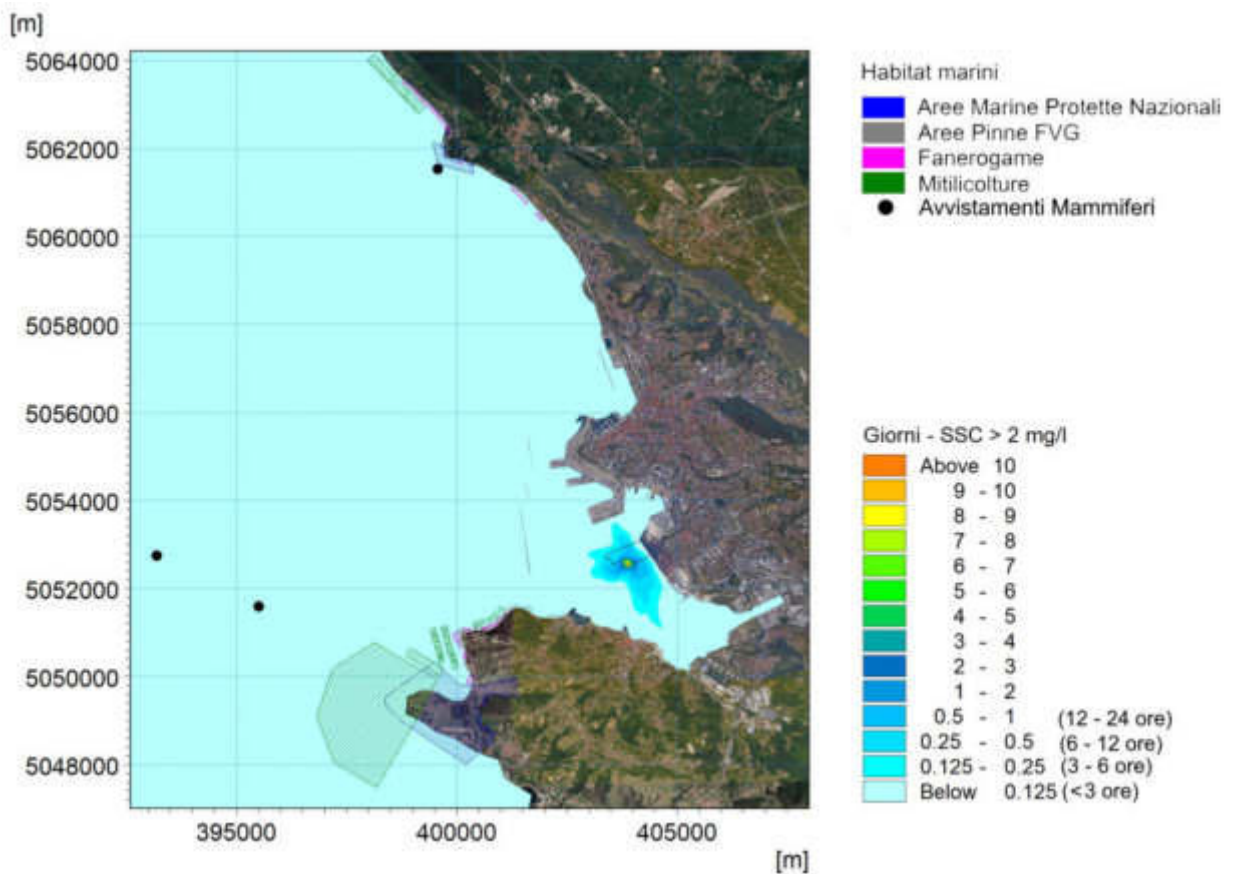


Figura 85 - Tempo di persistenza in giorni di concentrazione superiore a 2 mg/l in superficie a seguito della realizzazione dei pali in area P3 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi invernali

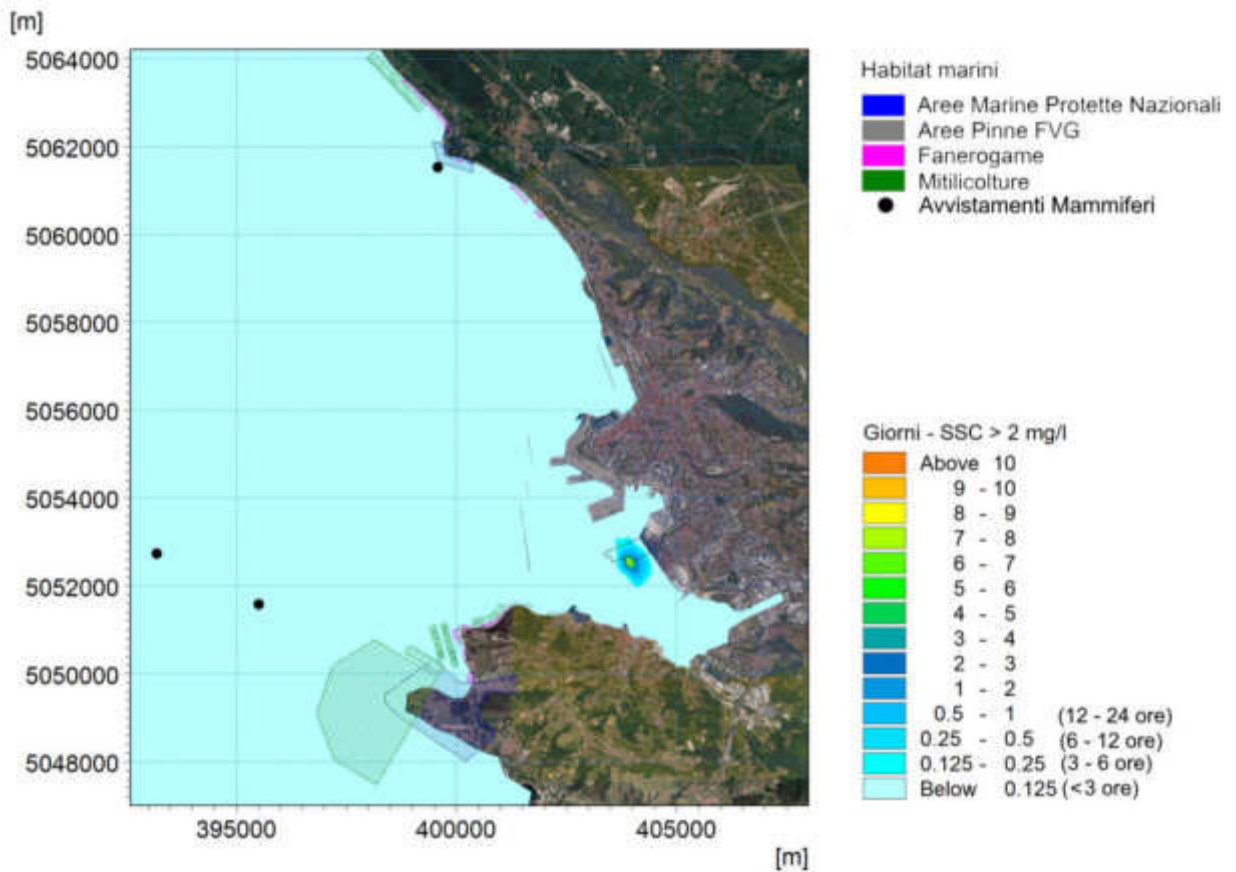


Figura 86 - Tempo di persistenza in giorni di concentrazione superiore a 2 mg/l a meta' colonna a seguito della realizzazione dei pali in area P3 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi invernali

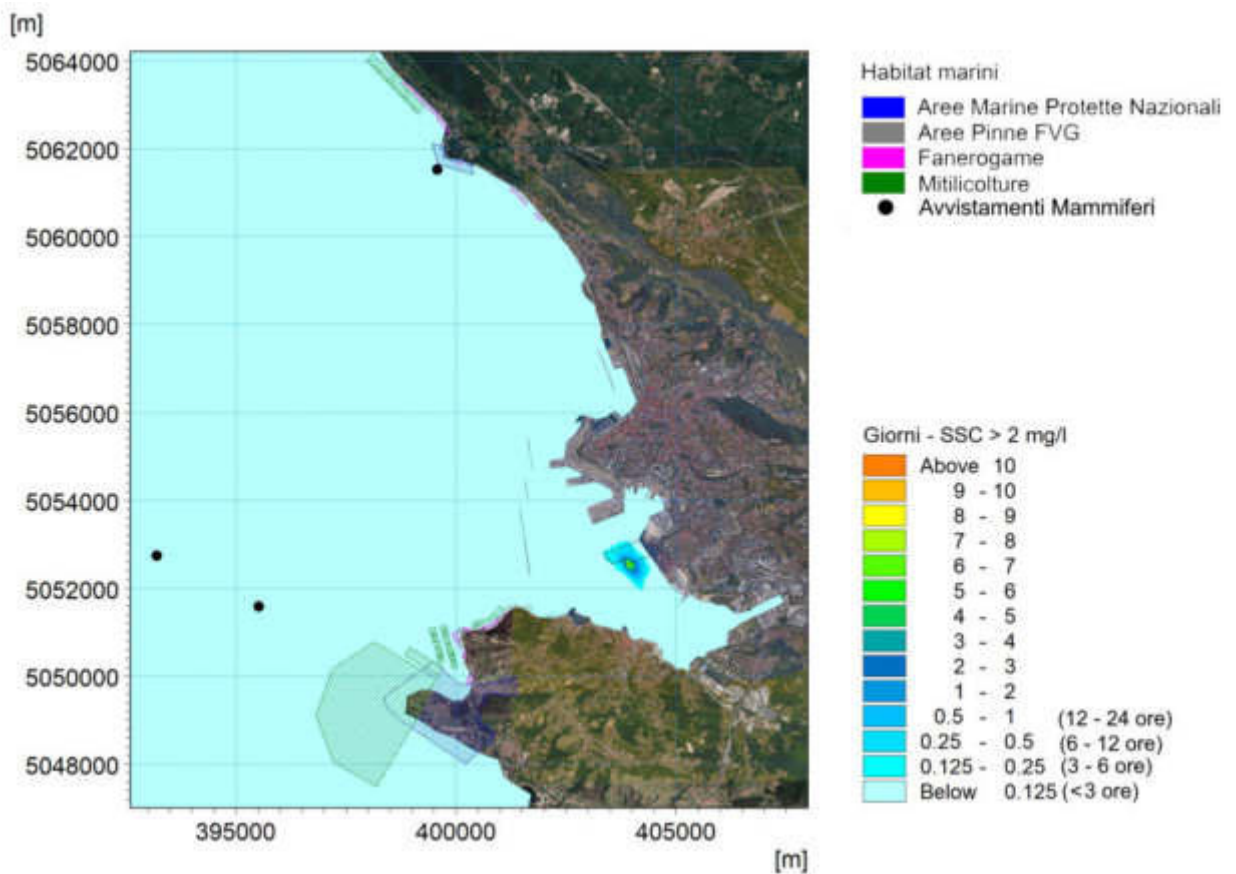


Figura 87 - Tempo di persistenza in giorni di concentrazione superiore a 2 mg/l al fondo a seguito della realizzazione dei pali in area P3 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi invernali

# CONDIZIONE PRIMAVERILE

---

Figura 88 - Tempo di persistenza in giorni di concentrazione superiore a 2 mg/l in superficie a seguito della realizzazione dei pali in area P1 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi primaverili

---

Figura 89 - Tempo di persistenza in giorni di concentrazione superiore a 2 mg/l a meta' colonna a seguito della realizzazione dei pali in area P1 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi primaverili

---

Figura 90 - Tempo di persistenza in giorni di concentrazione superiore a 2 mg/l al fondo a seguito della realizzazione dei pali in area P1 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi primaverili

---

Figura 91 - Tempo di persistenza in giorni di concentrazione superiore a 2 mg/l in superficie a seguito della realizzazione dei pali in area P2 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi primaverili

---

Figura 92 - Tempo di persistenza in giorni di concentrazione superiore a 2 mg/l a meta' colonna a seguito della realizzazione dei pali in area P2 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi primaverili

---

Figura 93 - Tempo di persistenza in giorni di concentrazione superiore a 2 mg/l al fondo a seguito della realizzazione dei pali in area P2 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi primaverili

---

Figura 94 - Tempo di persistenza in giorni di concentrazione superiore a 2 mg/l in superficie a seguito della realizzazione dei pali in area P3 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi primaverili

---

Figura 95 - Tempo di persistenza in giorni di concentrazione superiore a 2 mg/l a meta' colonna a seguito della realizzazione dei pali in area P3 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi primaverili

---

Figura 96 - Tempo di persistenza in giorni di concentrazione superiore a 2 mg/l al fondo a seguito della realizzazione dei pali in area P3 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi primaverili

---

# CONDIZIONE ESTIVA

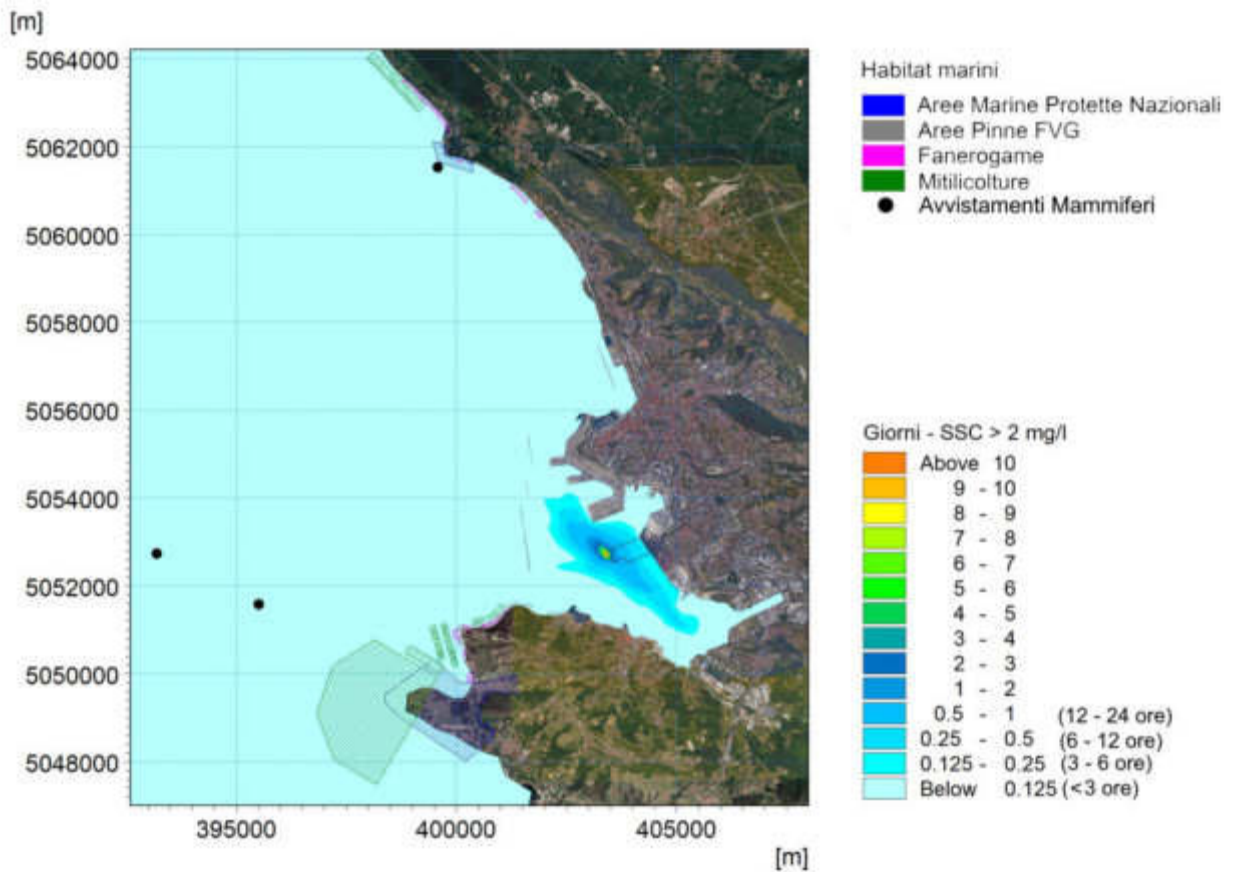


Figura 97 - Tempo di persistenza in giorni di concentrazione superiore a 2 mg/l in superficie a seguito della realizzazione dei pali in area P1 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi estivi

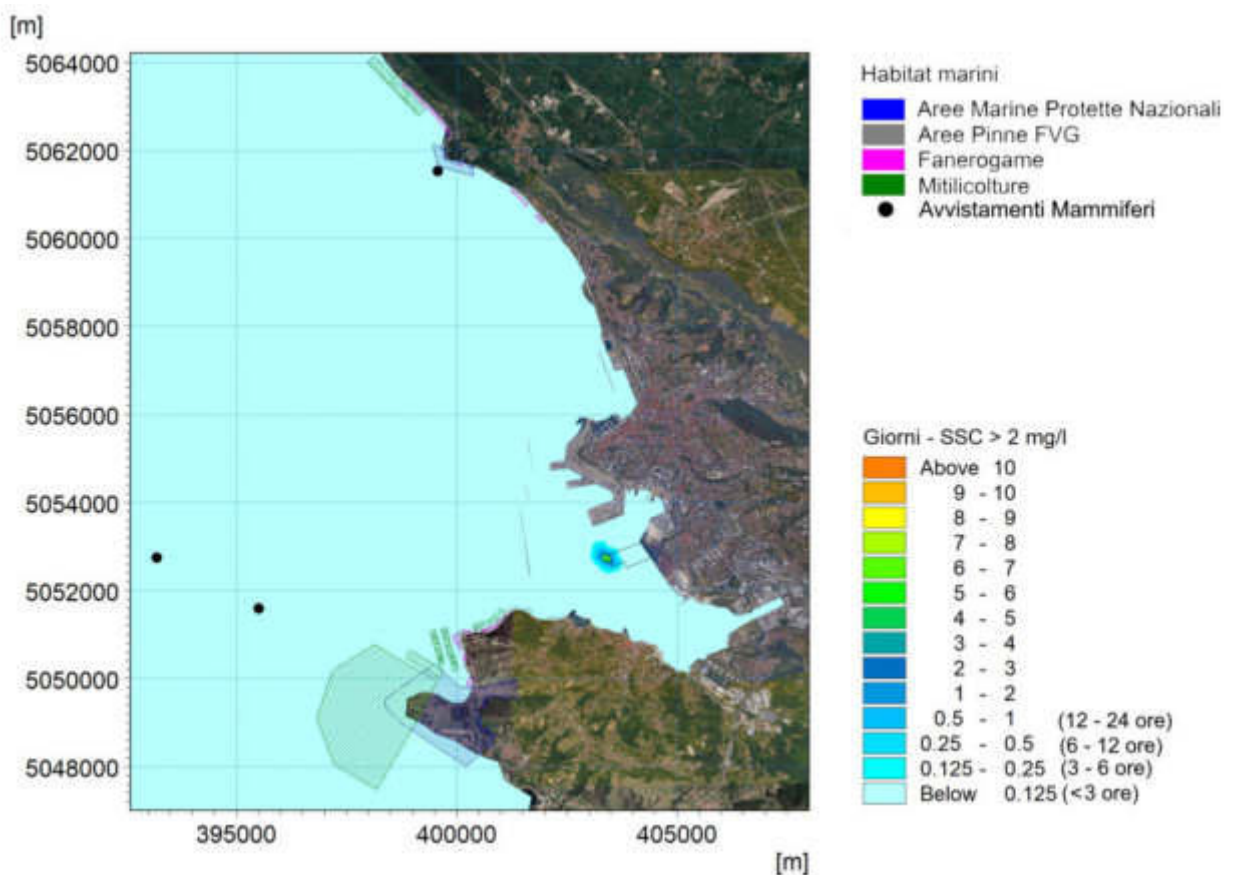


Figura 98 - Tempo di persistenza in giorni di concentrazione superiore a 2 mg/l a meta' colonna a seguito della realizzazione dei pali in area P1 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi estivi

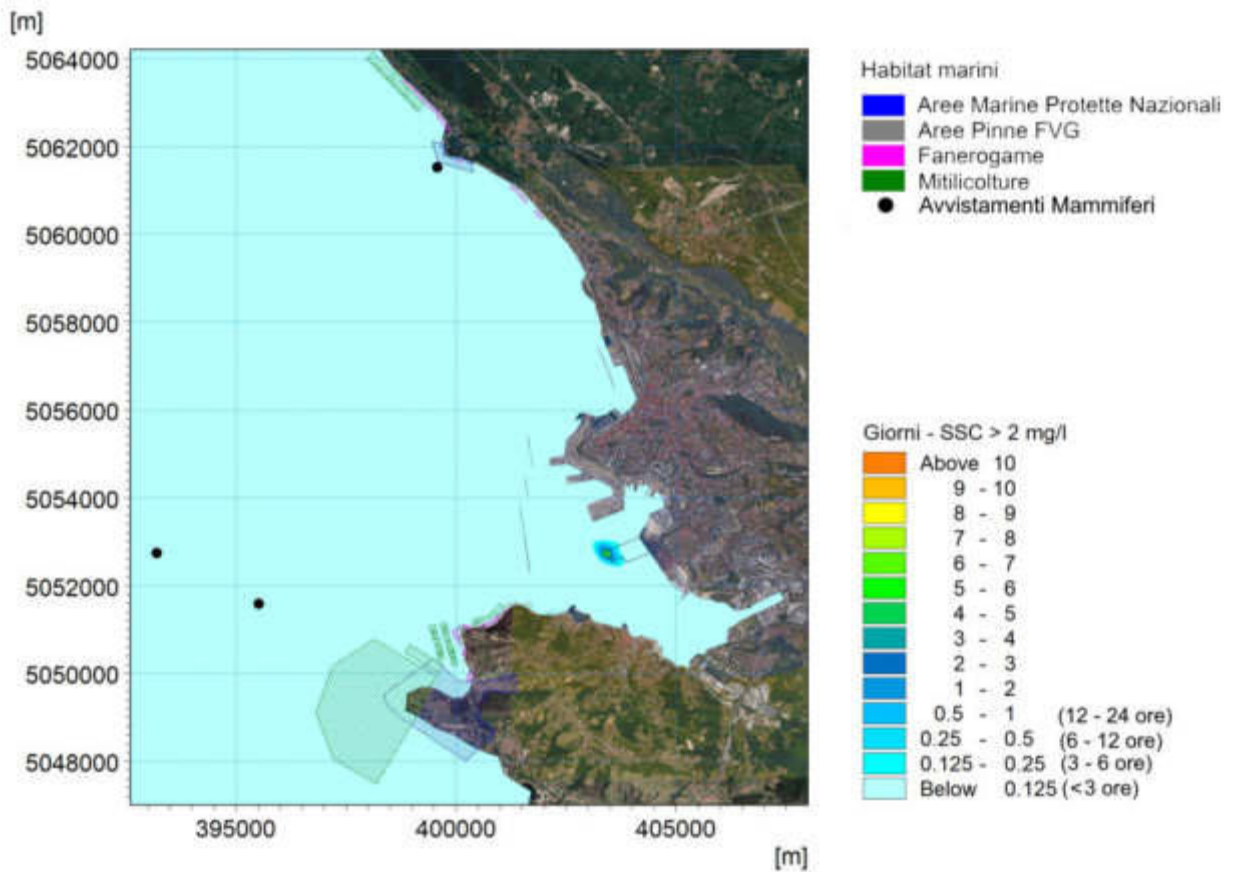


Figura 99 - Tempo di persistenza in giorni di concentrazione superiore a 2 mg/l al fondo a seguito della realizzazione dei pali in area P1 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi estivi

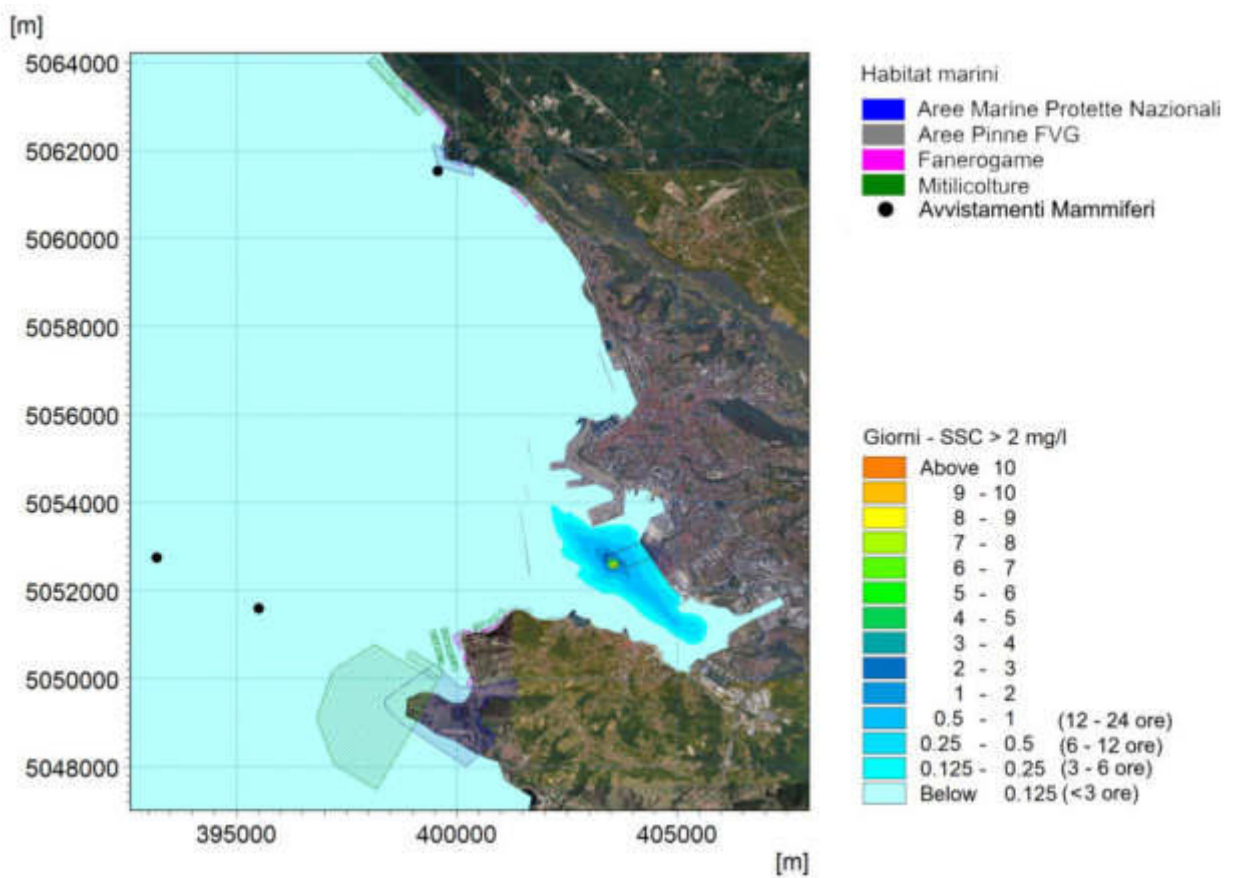


Figura 100 - Tempo di persistenza in giorni di concentrazione superiore a 2 mg/l in superficie a seguito della realizzazione dei pali in area P2 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi estivi



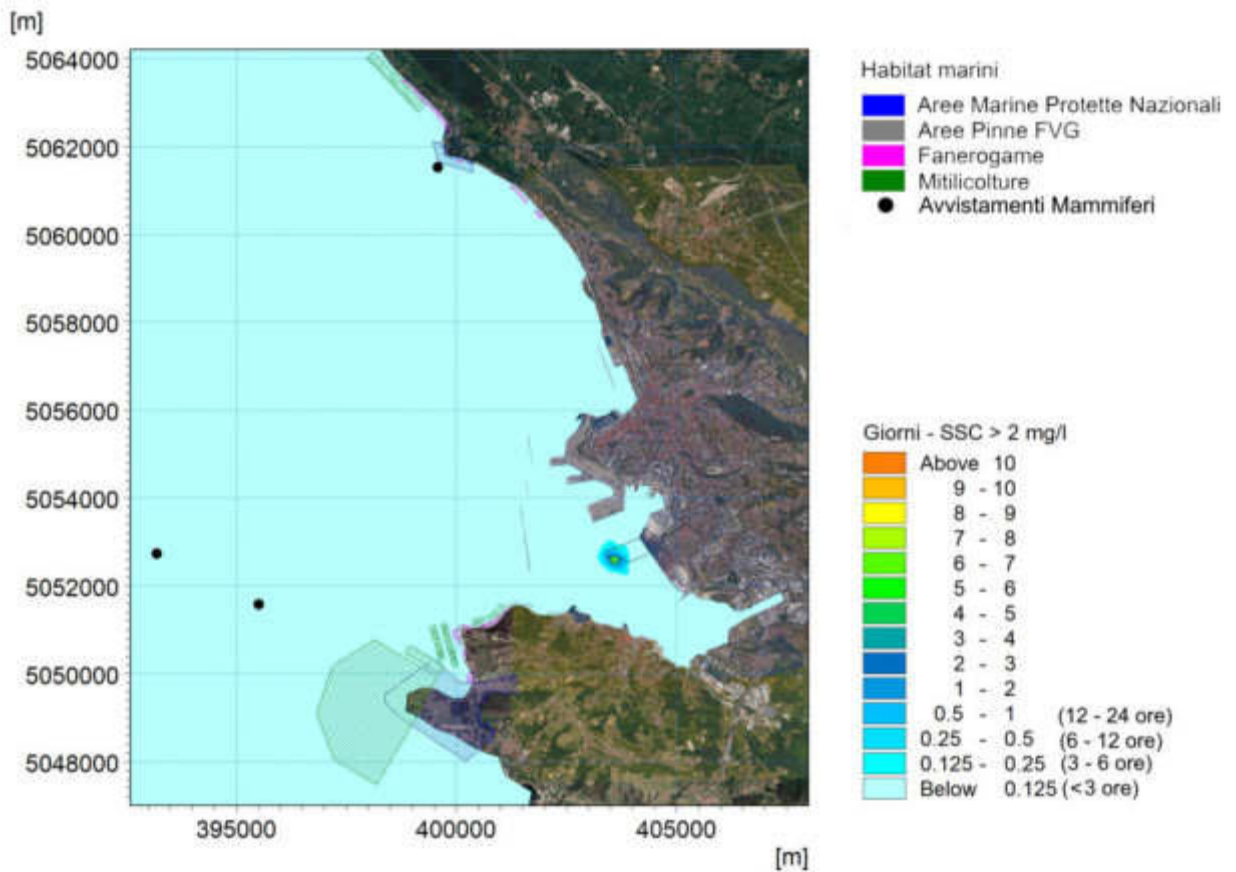


Figura 101 - Tempo di persistenza in giorni di concentrazione superiore a 2 mg/l a meta' colonna a seguito della realizzazione dei pali in area P2 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi estivi

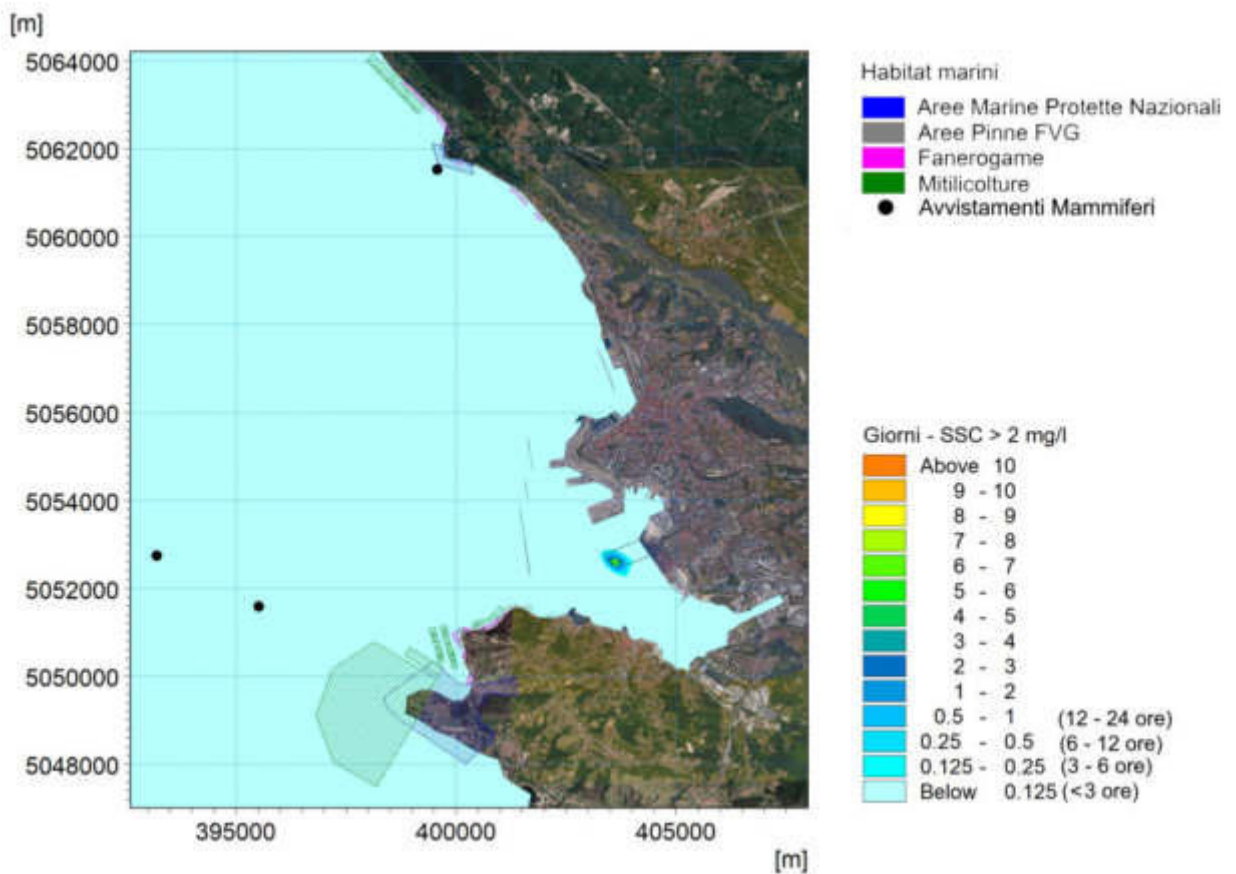


Figura 102 - Tempo di persistenza in giorni di concentrazione superiore a 2 mg/l al fondo a seguito della realizzazione dei pali in area P2 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi estivi

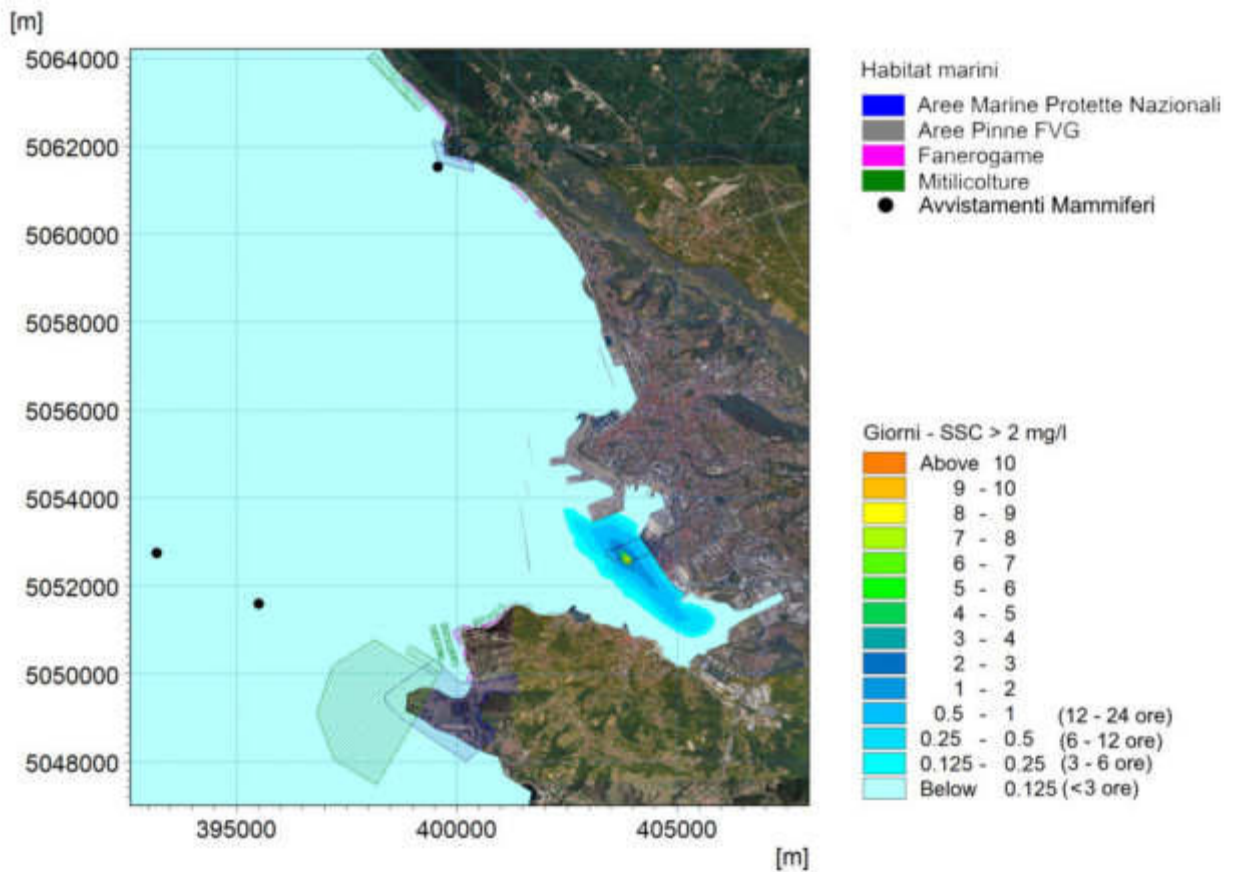


Figura 103 - Tempo di persistenza in giorni di concentrazione superiore a 2 mg/l in superficie a seguito della realizzazione dei pali in area P3 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi estivi

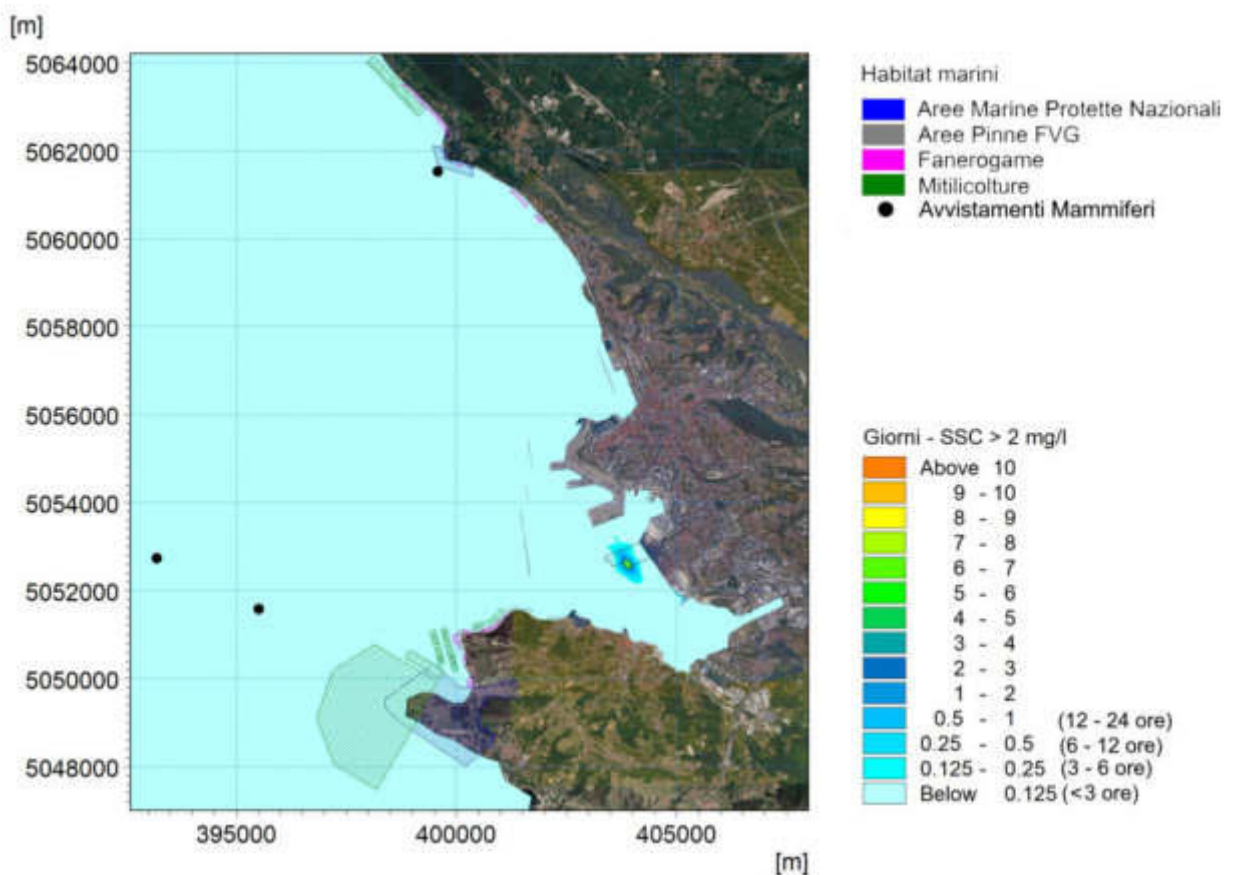


Figura 104 - Tempo di persistenza in giorni di concentrazione superiore a 2 mg/l a meta' colonna a seguito della realizzazione dei pali in area P3 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi estivi

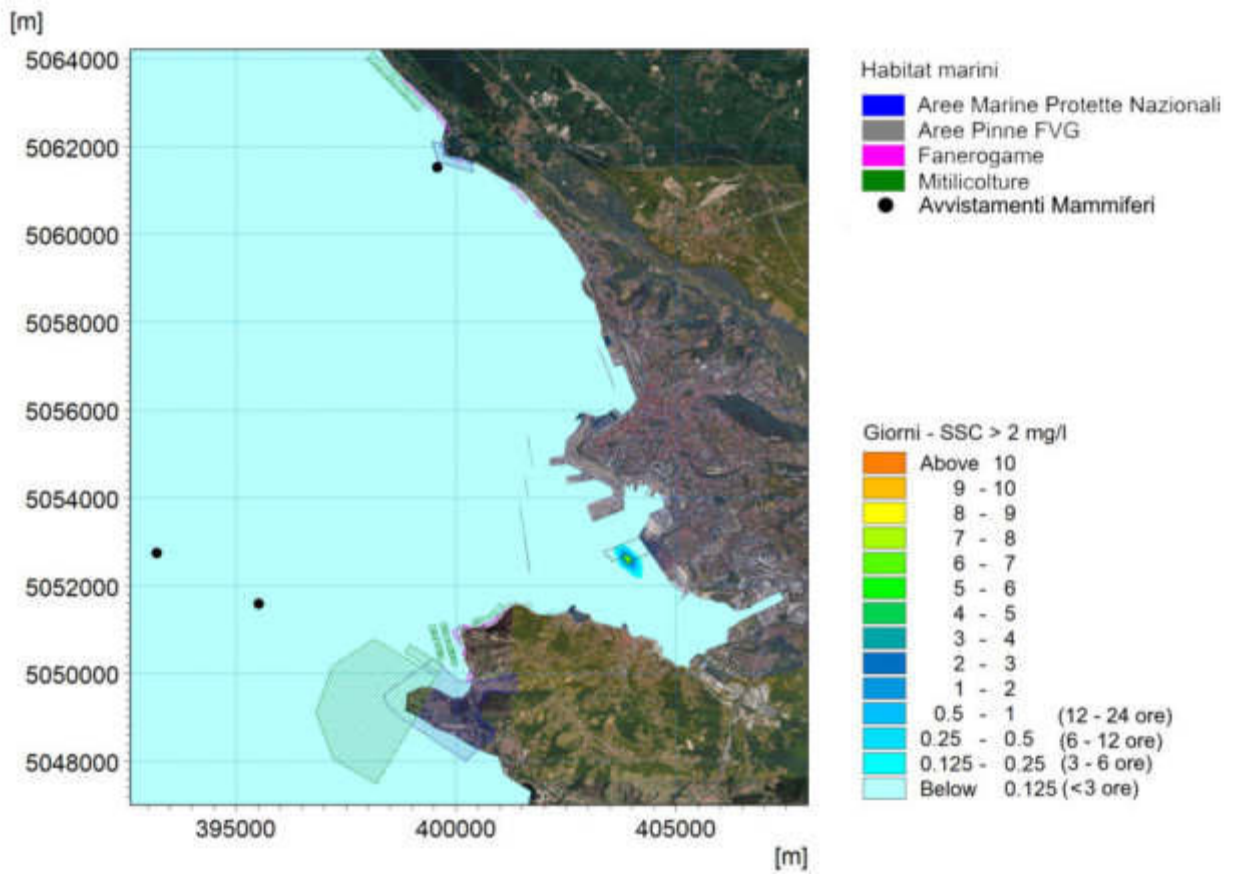


Figura 105 - Tempo di persistenza in giorni di concentrazione superiore a 2 mg/l al fondo a seguito della realizzazione dei pali in area P3 - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi estivi

# MASSIMO ACCUMULO DI SEDIMENTO AL FONDO DA OPERAZIONI DI DRAGAGGIO

Mappe rappresentative del massimo accumulo di sedimento ottenuto come media dei massimi accumuli ottenuti per ciascuna simulazione; le mappe fanno riferimento all'intero anno e alle singole stagioni

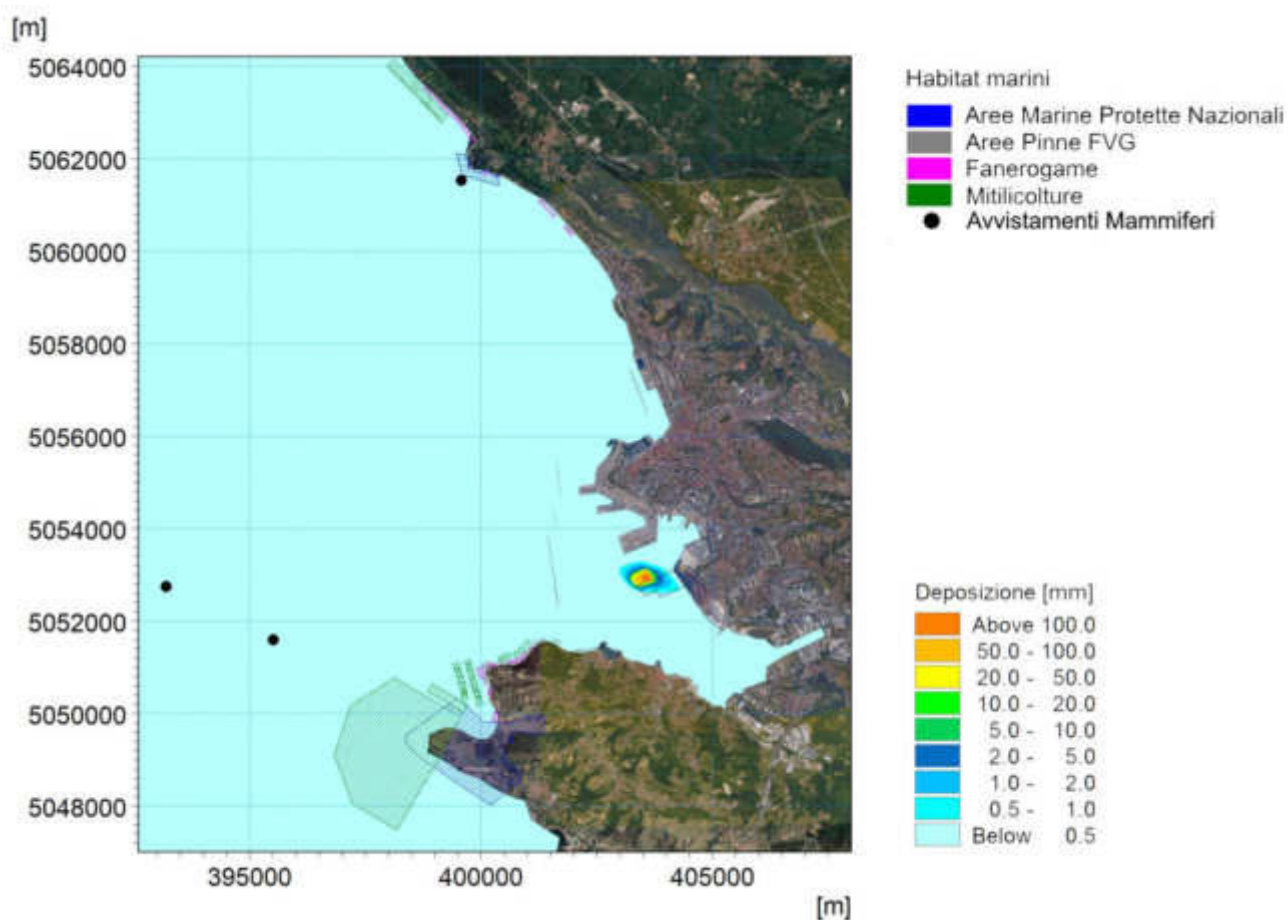


Figura 1 - Accumulo massimo del sedimento depositato [mm] a seguito delle operazioni di dragaggio - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate

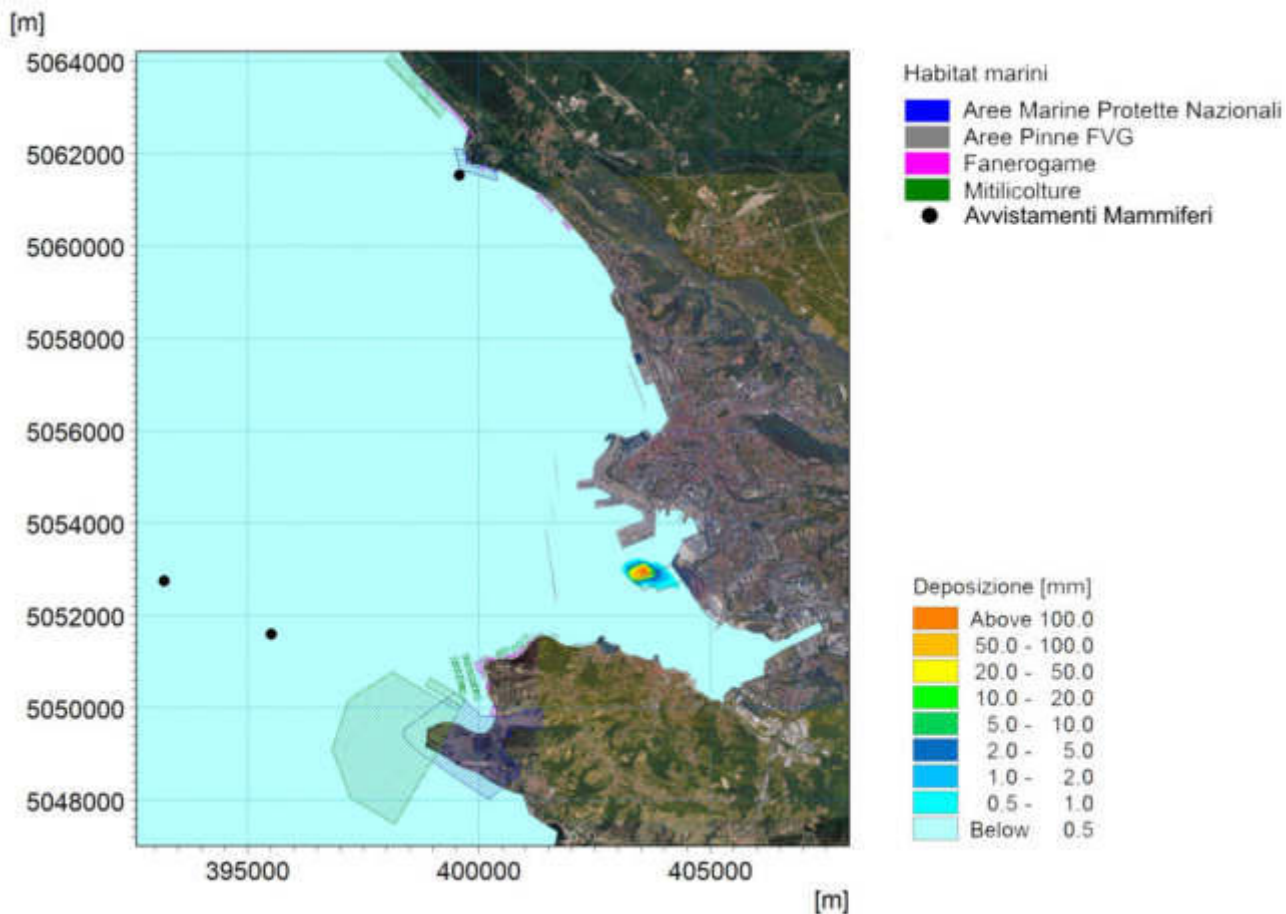


Figura 2 - Accumulo massimo del sedimento depositato [mm] a seguito delle operazioni di dragaggio - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi autunnali

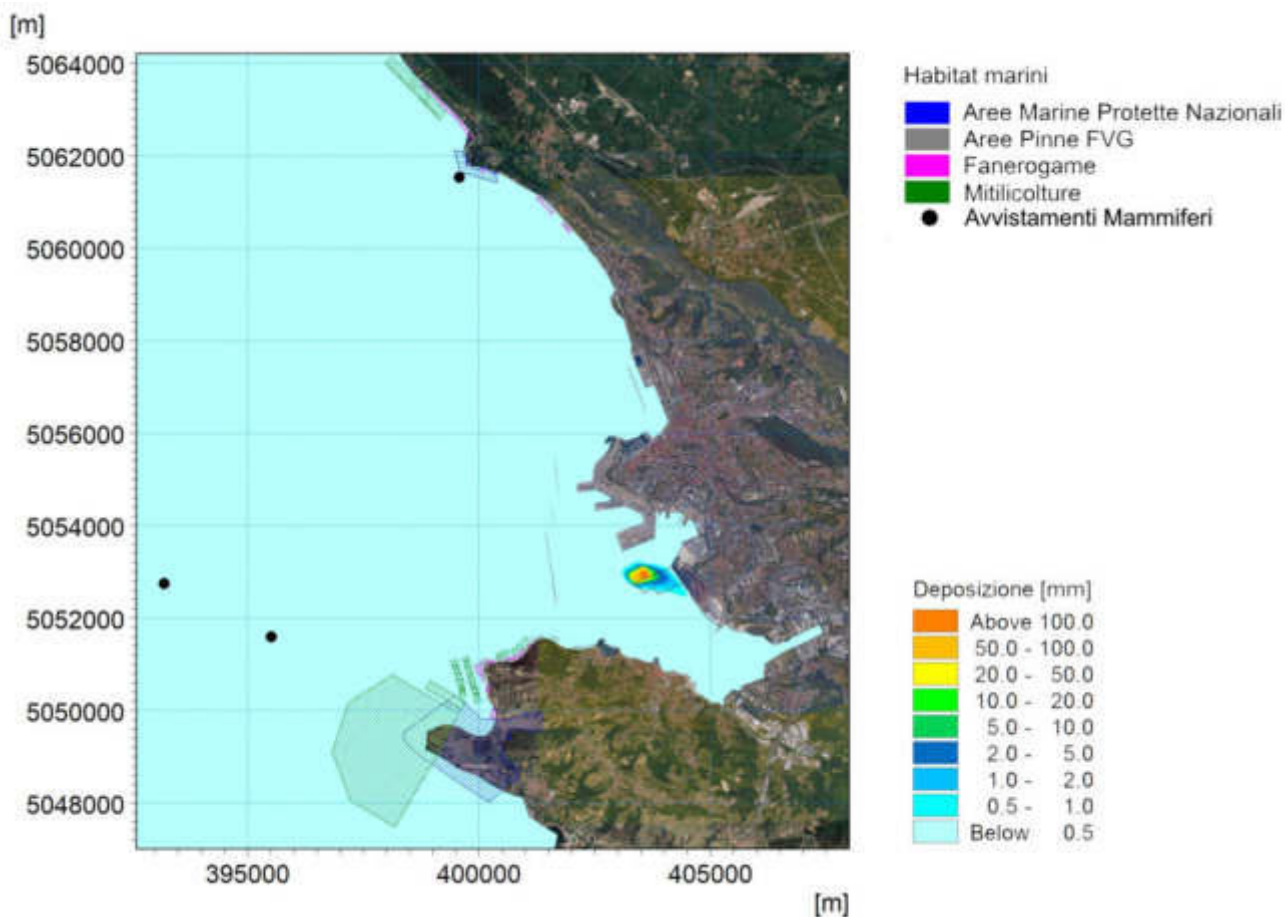


Figura 3 - Accumulo massimo del sedimento depositato [mm] a seguito delle operazioni di dragaggio - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi invernali

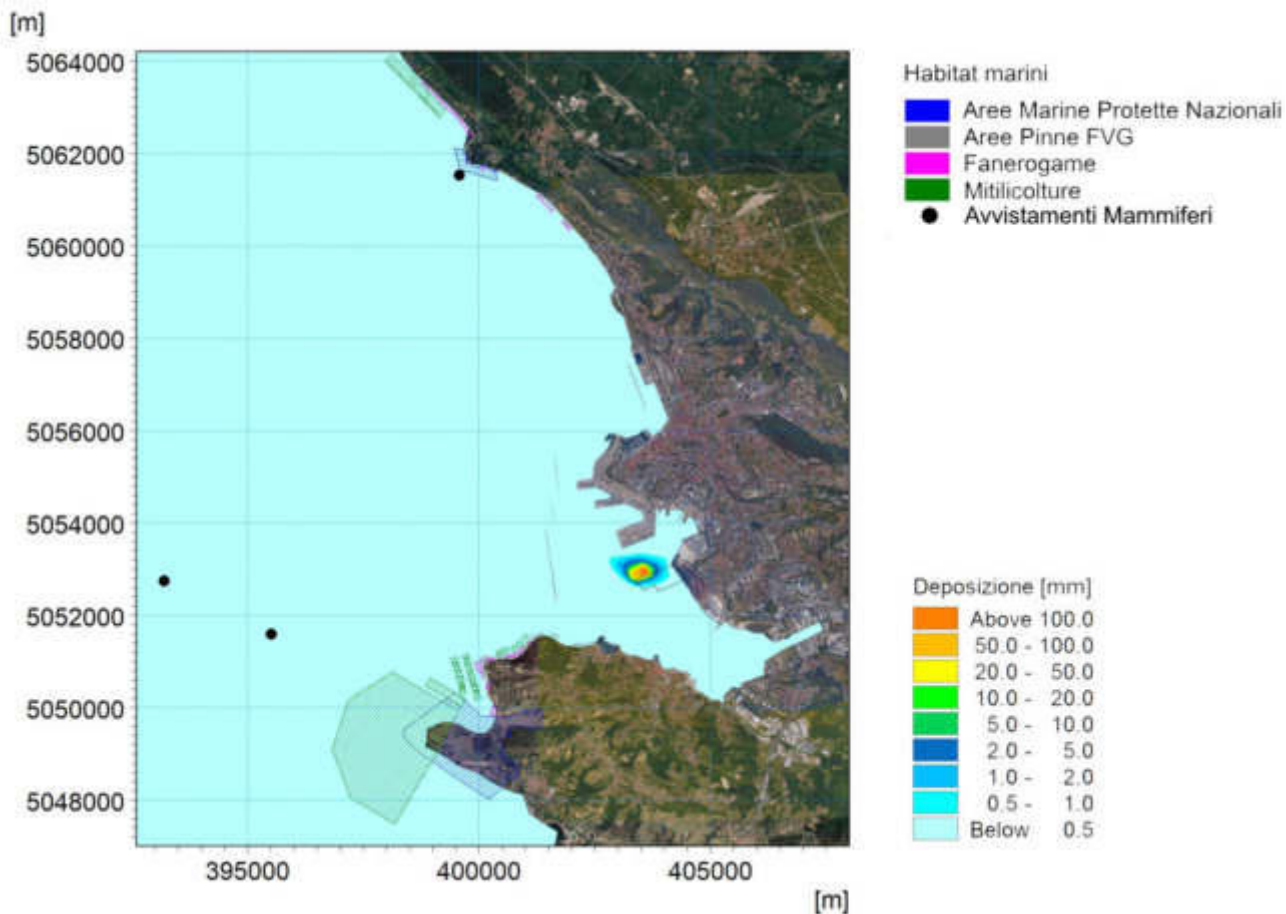


Figura 4 - Accumulo massimo del sedimento depositato [mm] a seguito delle operazioni di dragaggio - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi primaverili

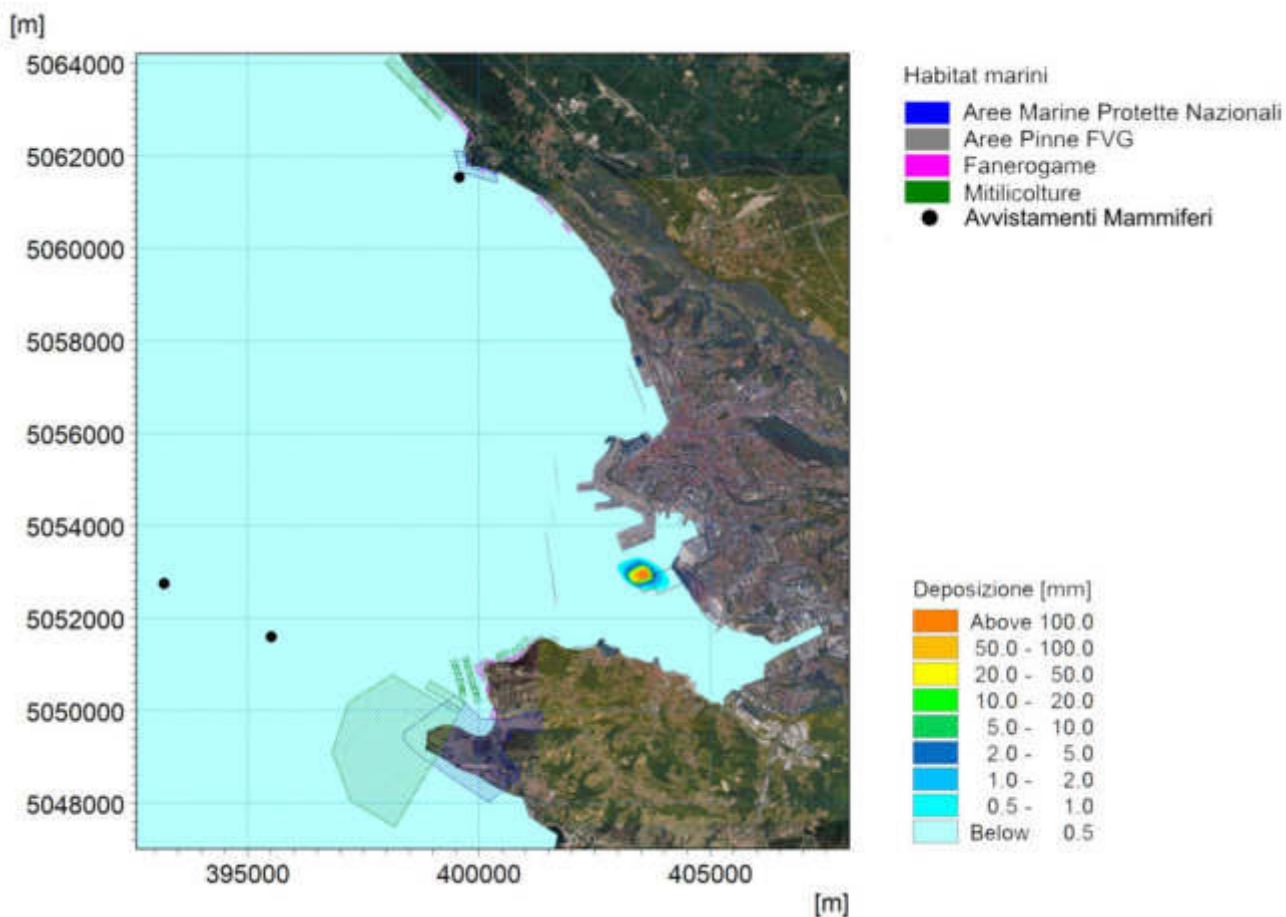


Figura 5 - Accumulo massimo del sedimento depositato [mm] a seguito delle operazioni di dragaggio - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi estivi

# MASSIMI DI CONCENTRAZIONE DEL SEDIMENTO IN SOSPENSIONE DA OPERAZIONI DI DRAGAGGIO

Mappe rappresentative dei massimi di concentrazione (in superficie, a meta' colonna e al fondo) di sedimento, ottenuto come media dei massimi ottenuti per ciascuna simulazione; le mappe fanno riferimento all'intero anno e alle singole stagioni

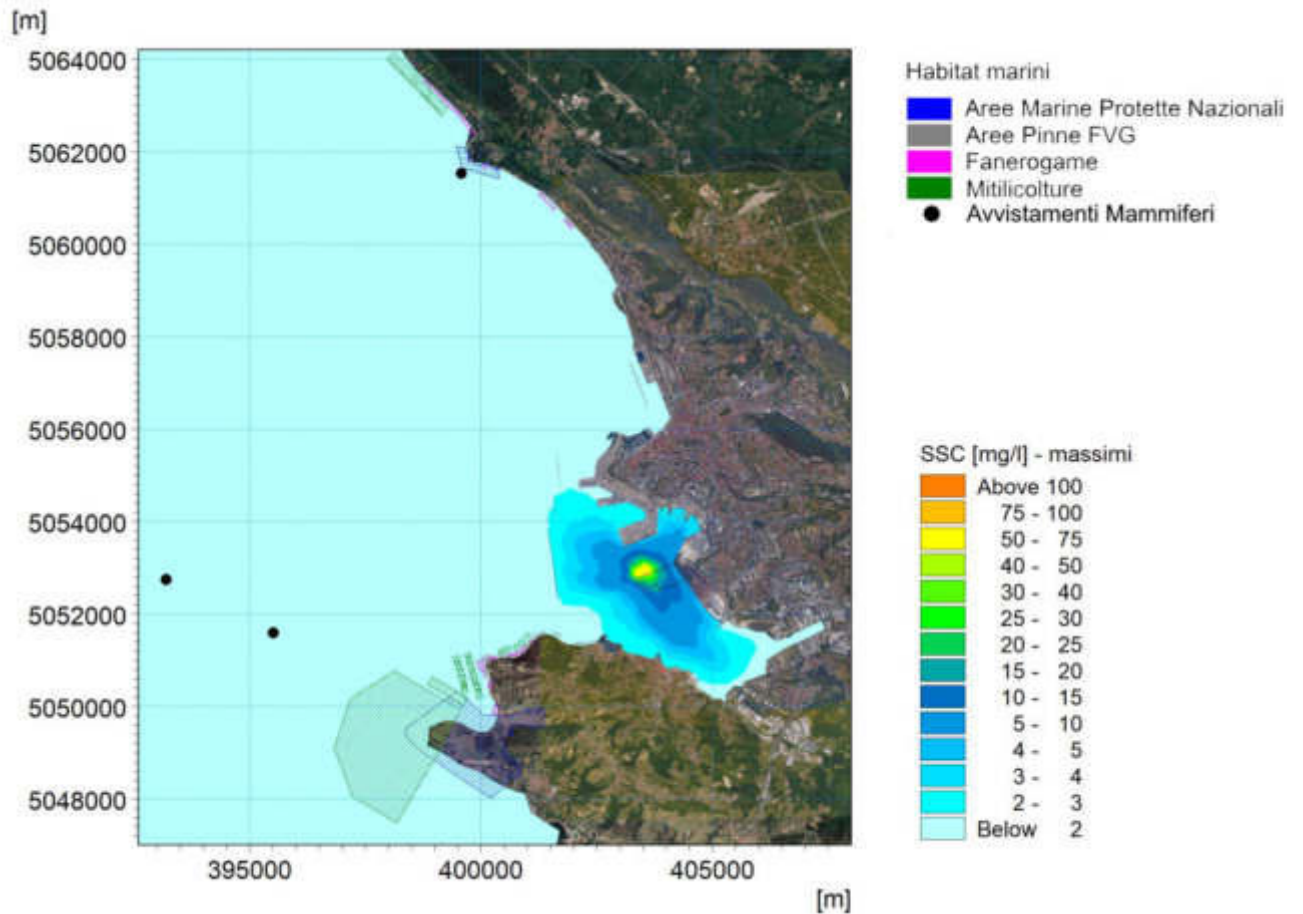


Figura 6 - Massimi di concentrazione in superficie [mg/l] a seguito delle operazioni di dragaggio - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate

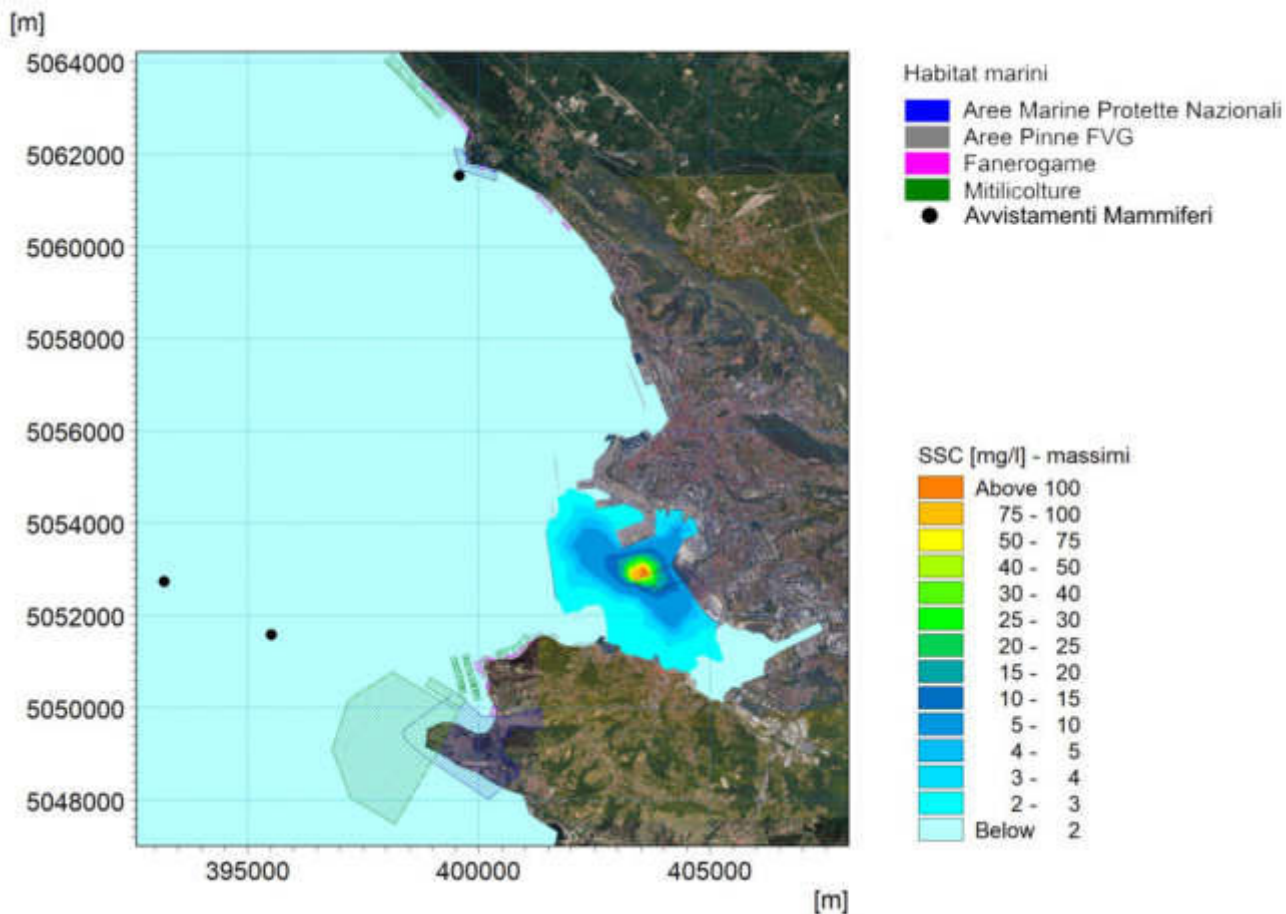


Figura 7 - Massimi di concentrazione a meta' colonna d'acqua [mg/l] a seguito delle operazioni di dragaggio - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate

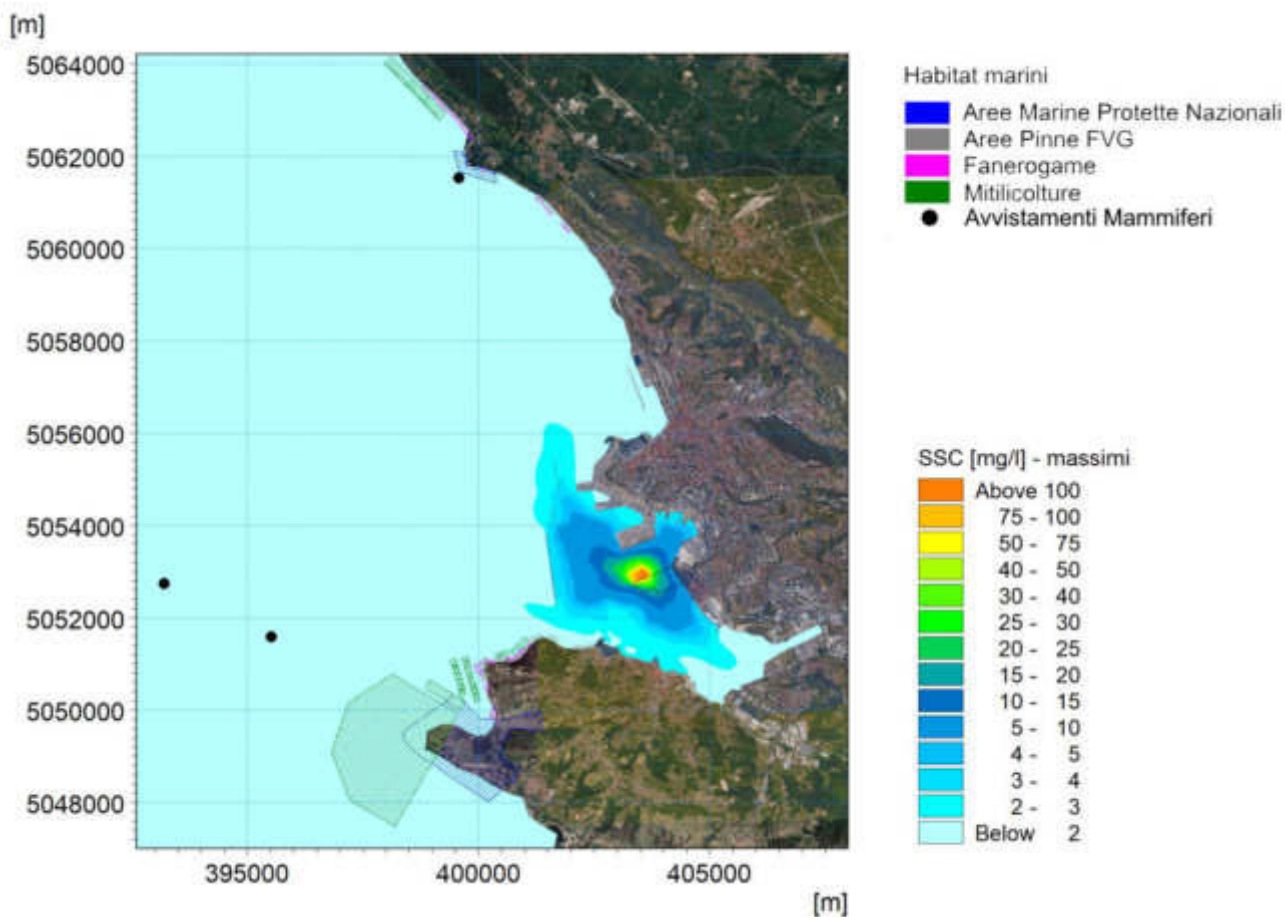


Figura 8 - Massimi di concentrazione al fondo [mg/l] a seguito delle operazioni di dragaggio - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate



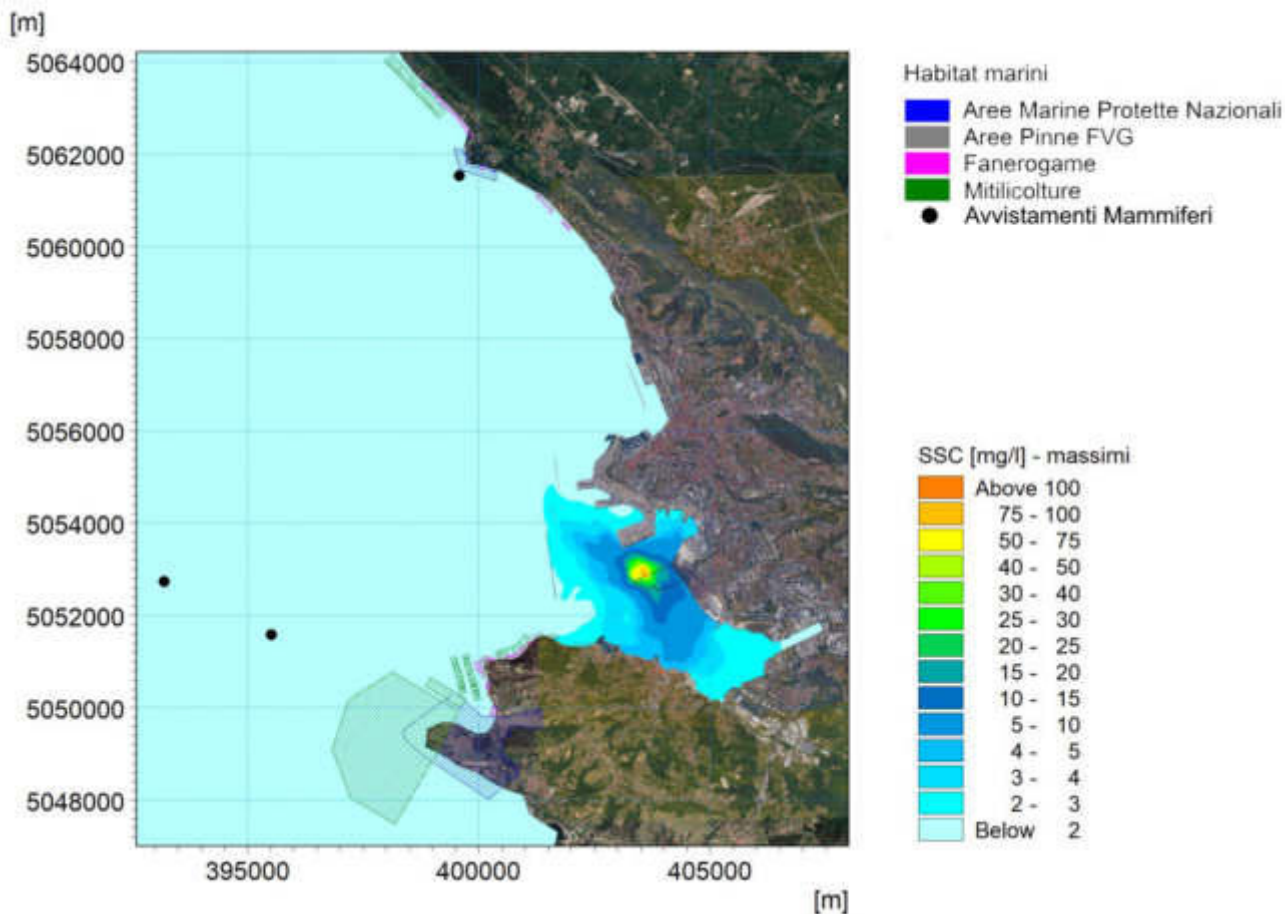


Figura 9 - Massimi di concentrazione in superficie [mg/l] a seguito delle operazioni di dragaggio - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi autunnali

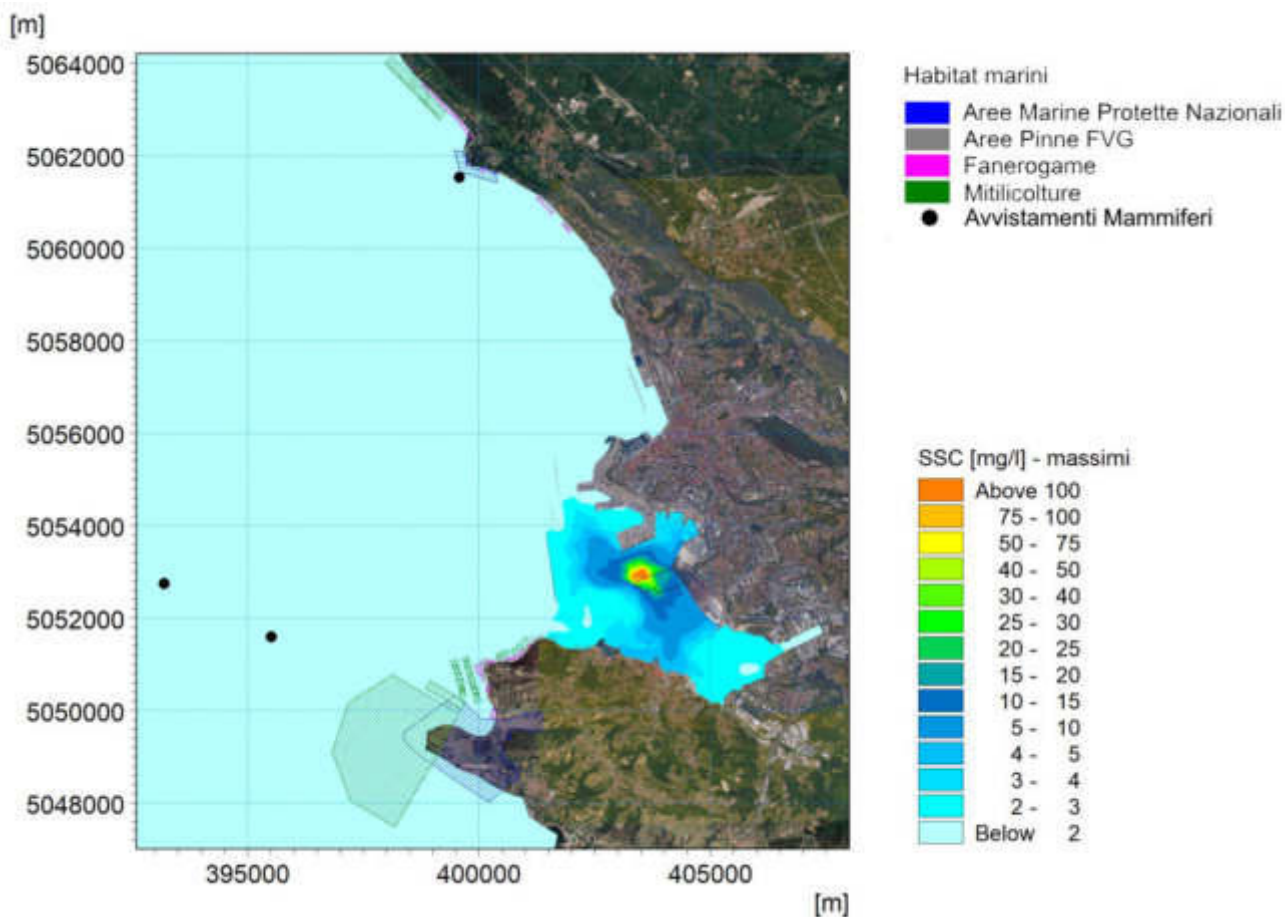


Figura 10 - Massimi di concentrazione a meta' colonna d'acqua [mg/l] a seguito delle operazioni di dragaggio - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi autunnali

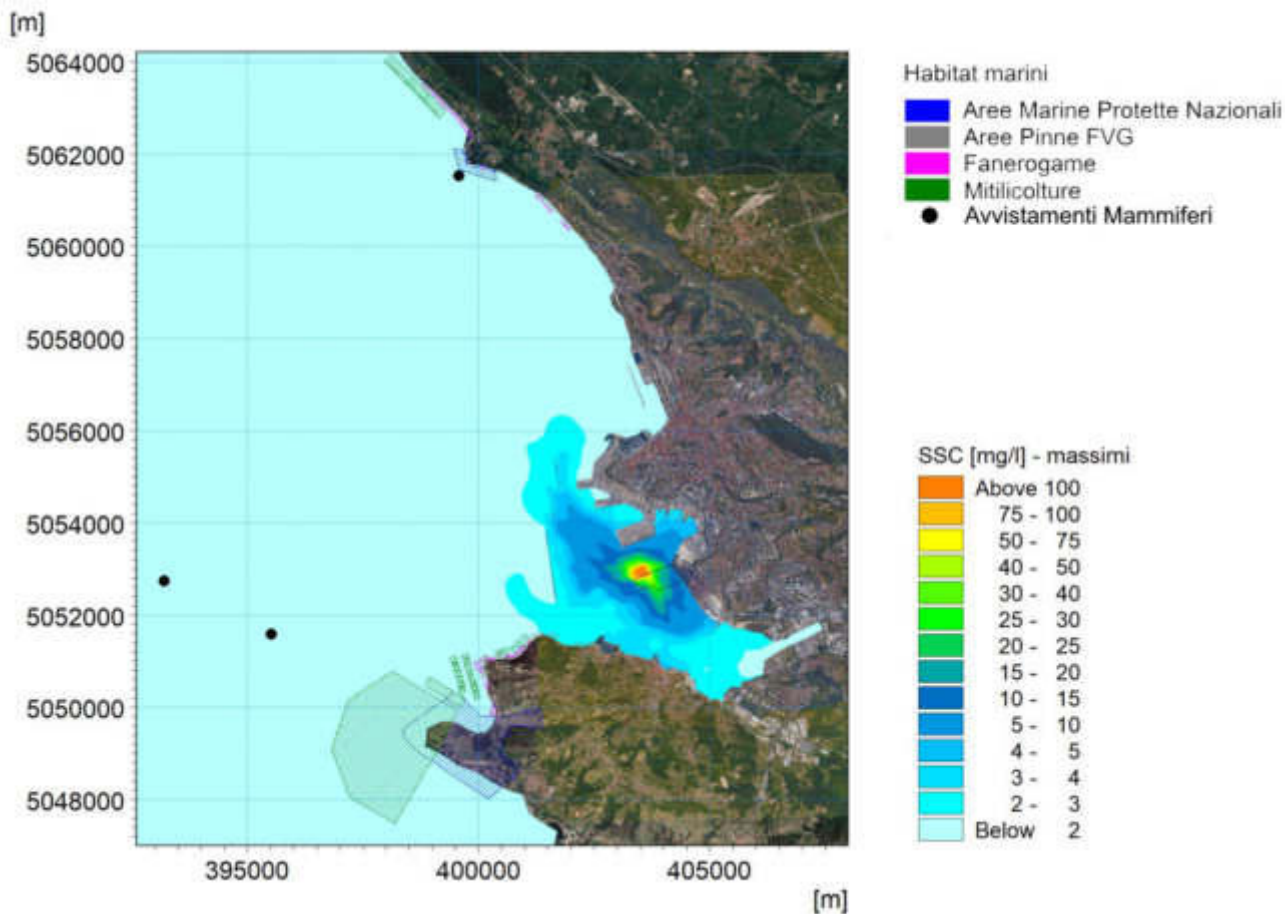


Figura 11 - Massimi di concentrazione al fondo [mg/l] a seguito delle operazioni di dragaggio - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi autunnali

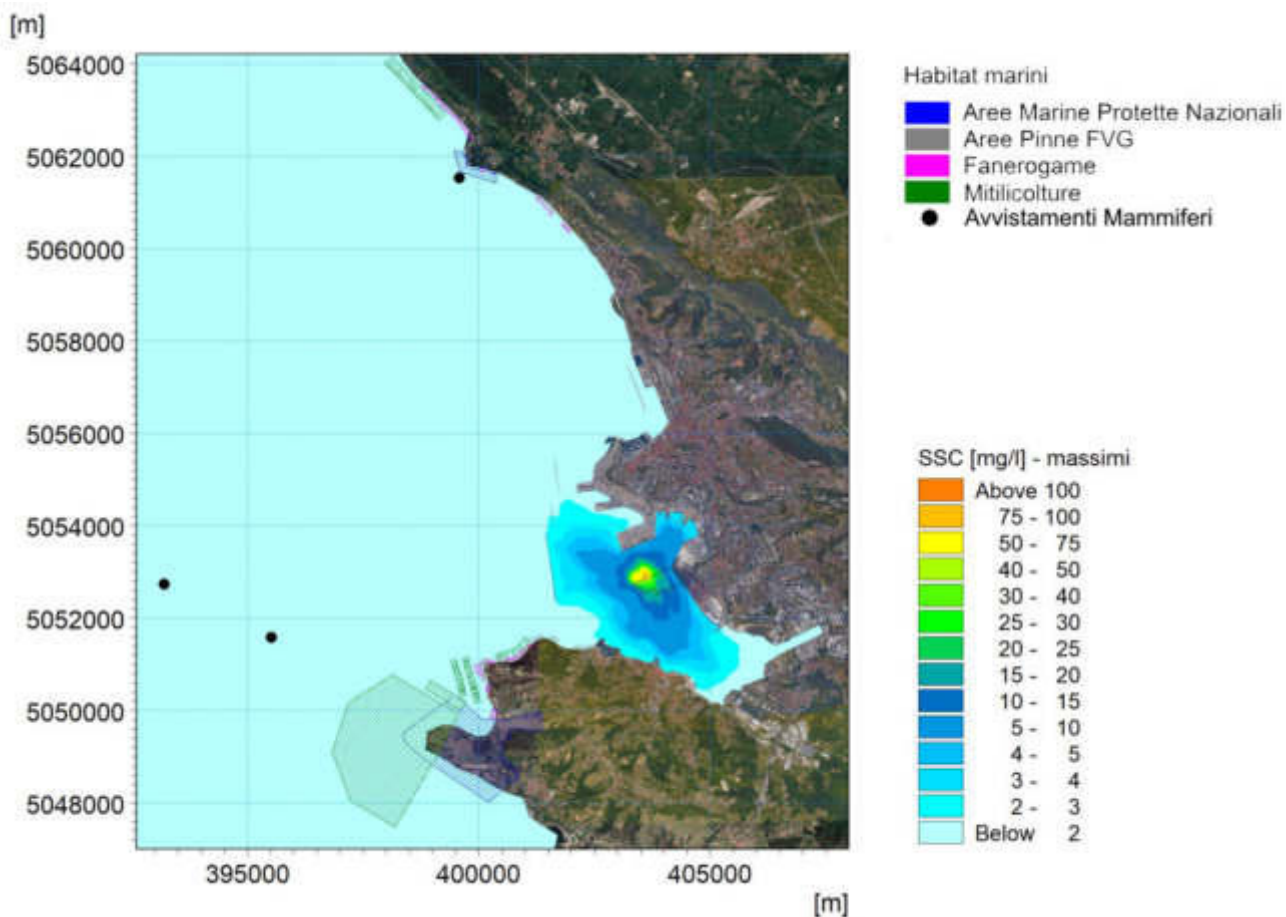


Figura 12 - Massimi di concentrazione in superficie [mg/l] a seguito delle operazioni di dragaggio - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi invernali

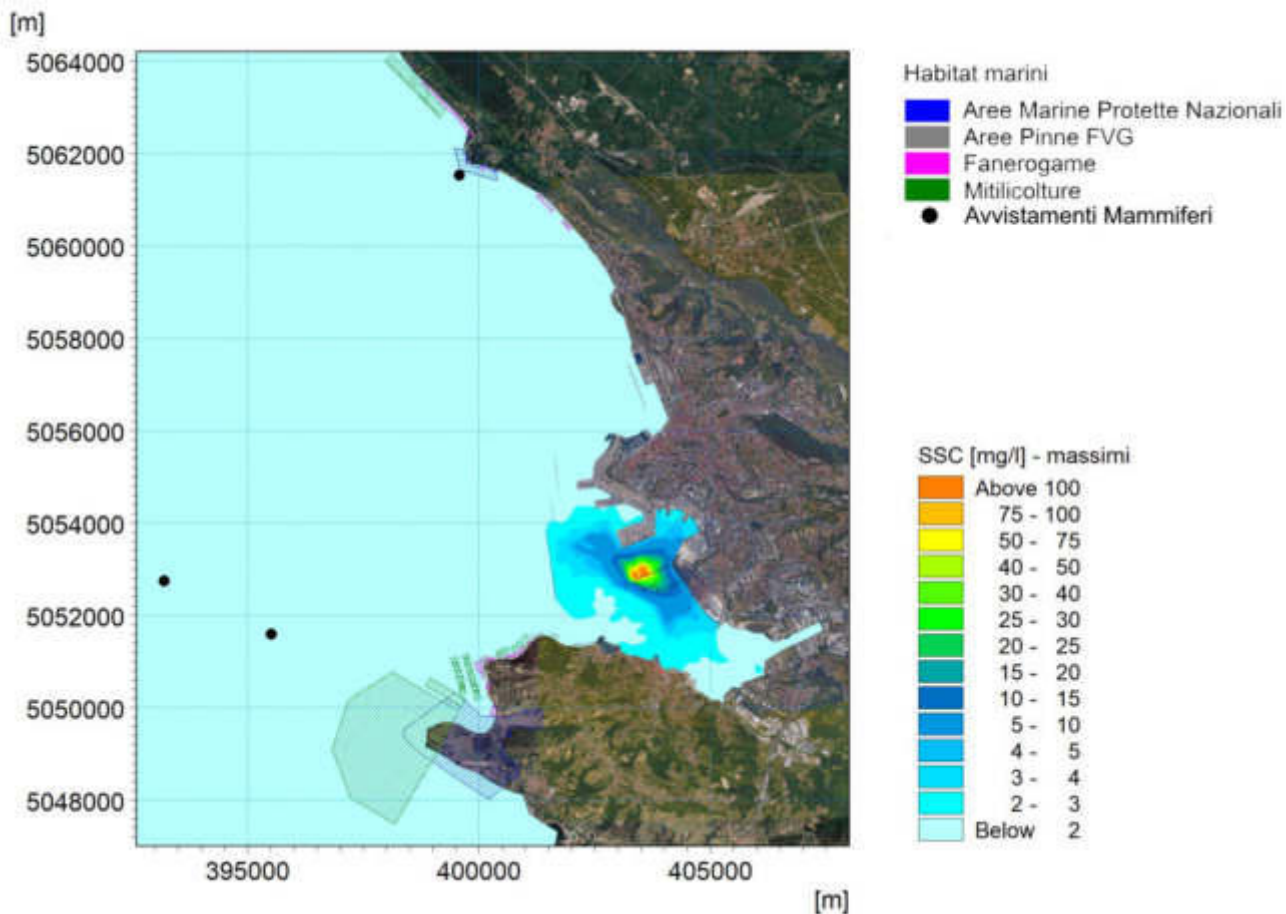


Figura 13 - Massimi di concentrazione a meta' colonna d'acqua [mg/l] a seguito delle operazioni di dragaggio - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi invernali

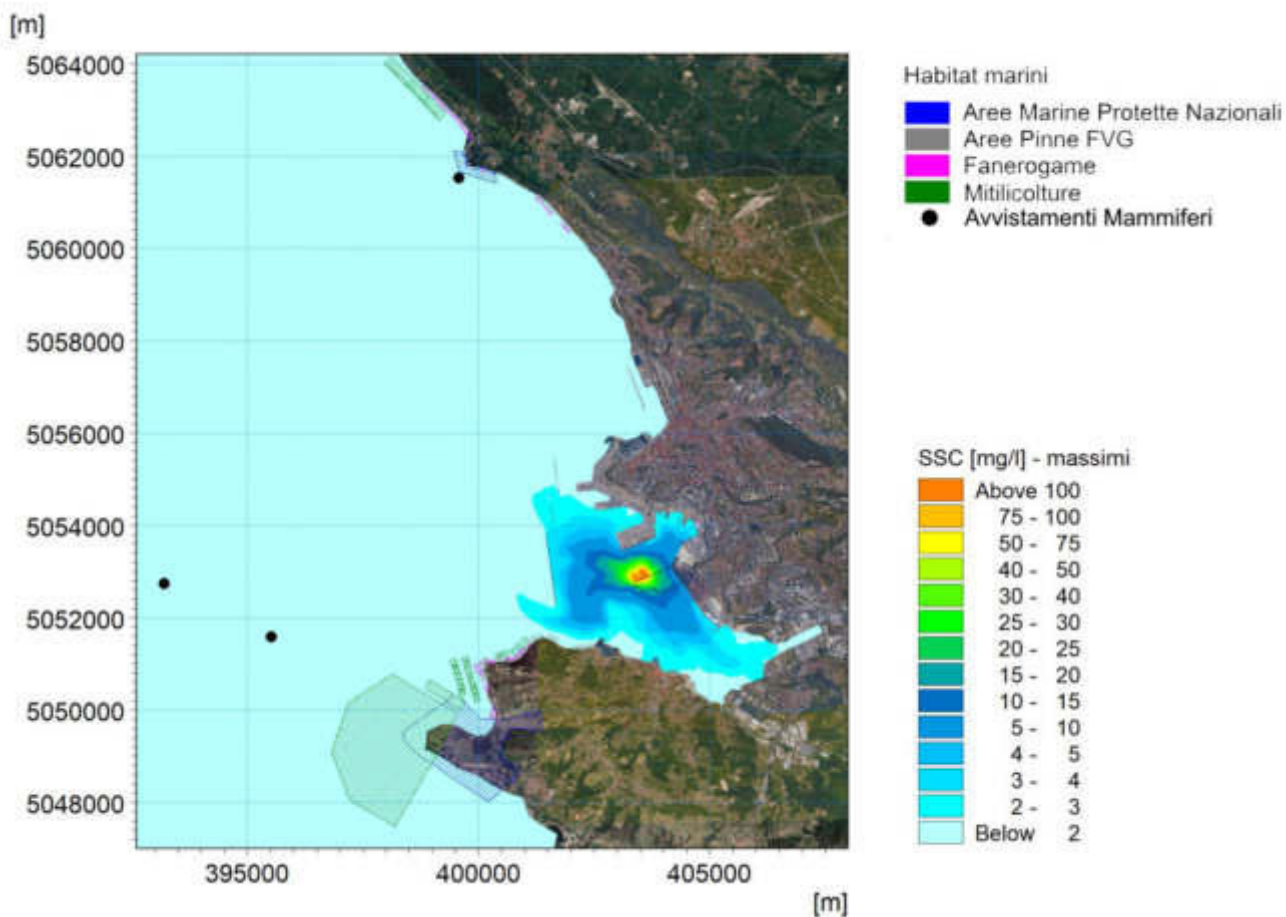


Figura 14 - Massimi di concentrazione al fondo [mg/l] a seguito delle operazioni di dragaggio - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi invernali

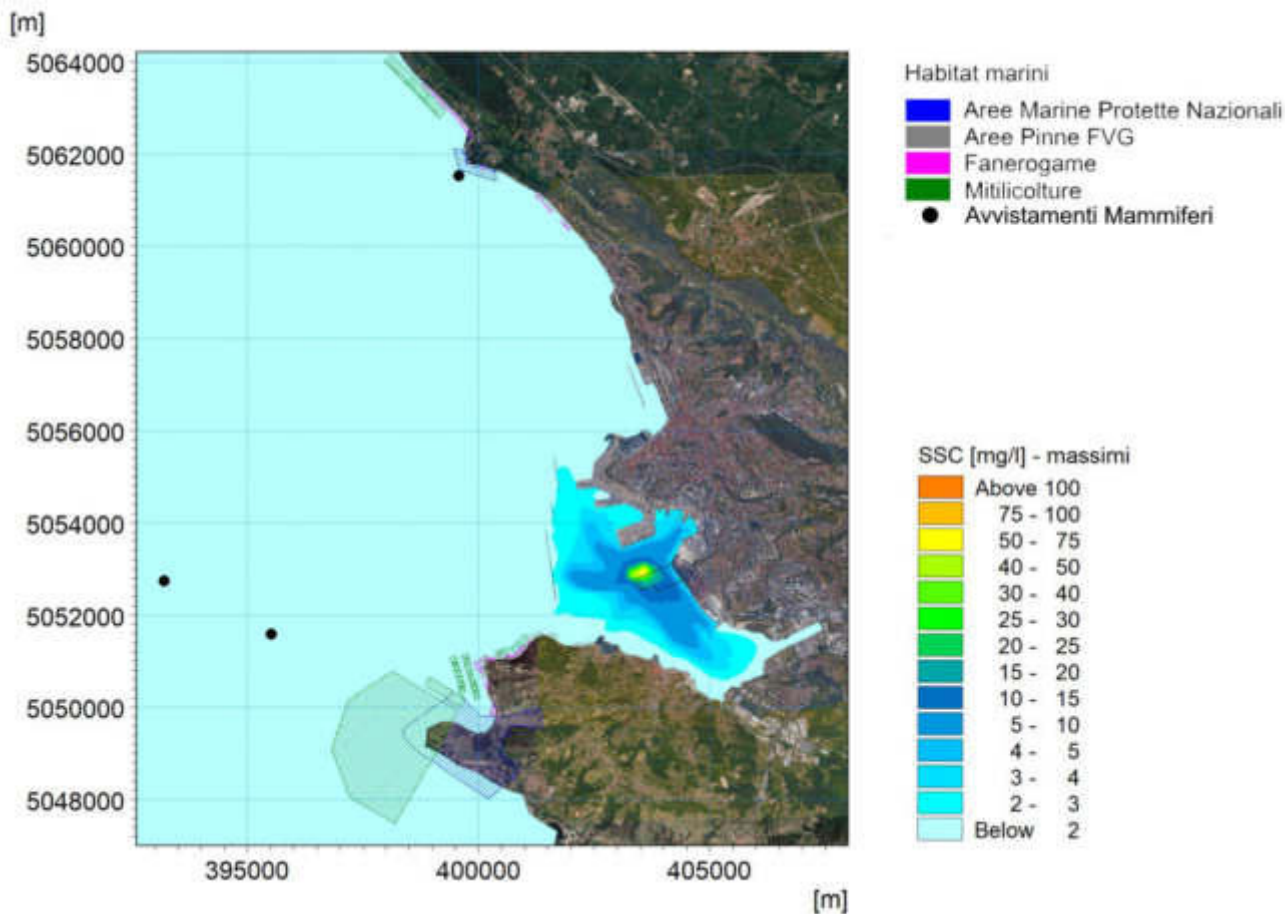


Figura 15 - Massimi di concentrazione in superficie [mg/l] a seguito delle operazioni di dragaggio - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi primaverili

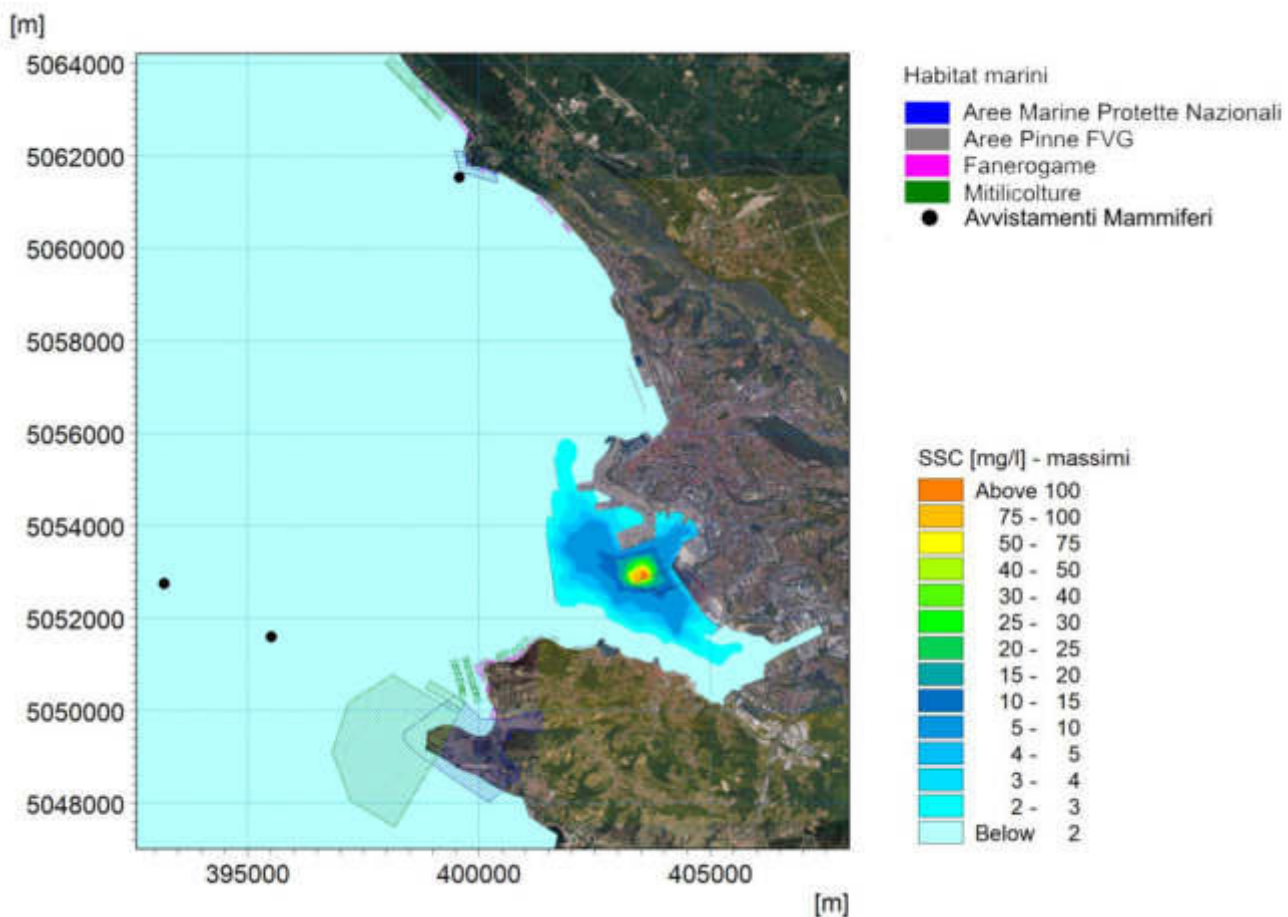


Figura 16 - Massimi di concentrazione a meta' colonna d'acqua [mg/l] a seguito delle operazioni di dragaggio - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi primaverili

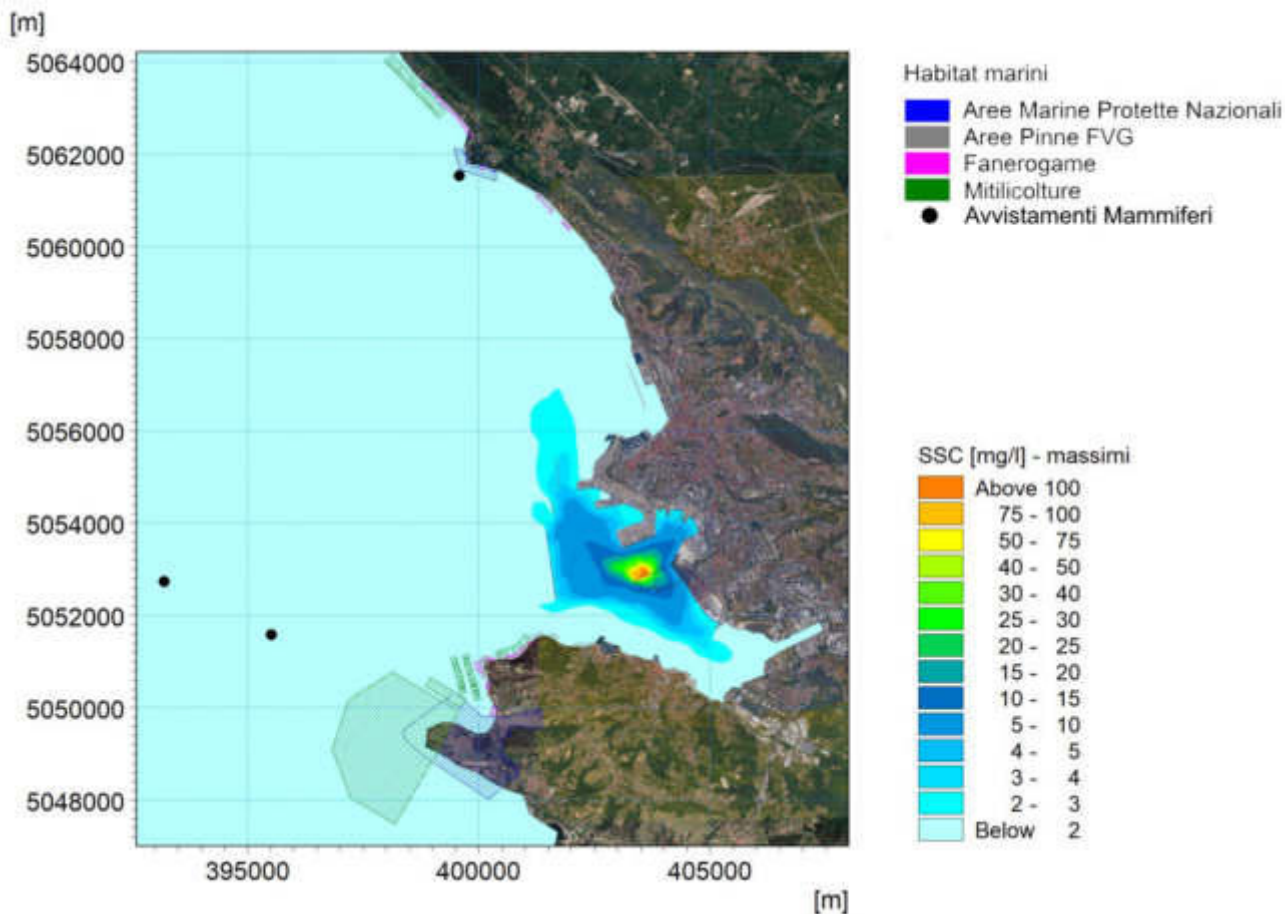


Figura 17 - Massimi di concentrazione al fondo [mg/l] a seguito delle operazioni di dragaggio - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi primaverili

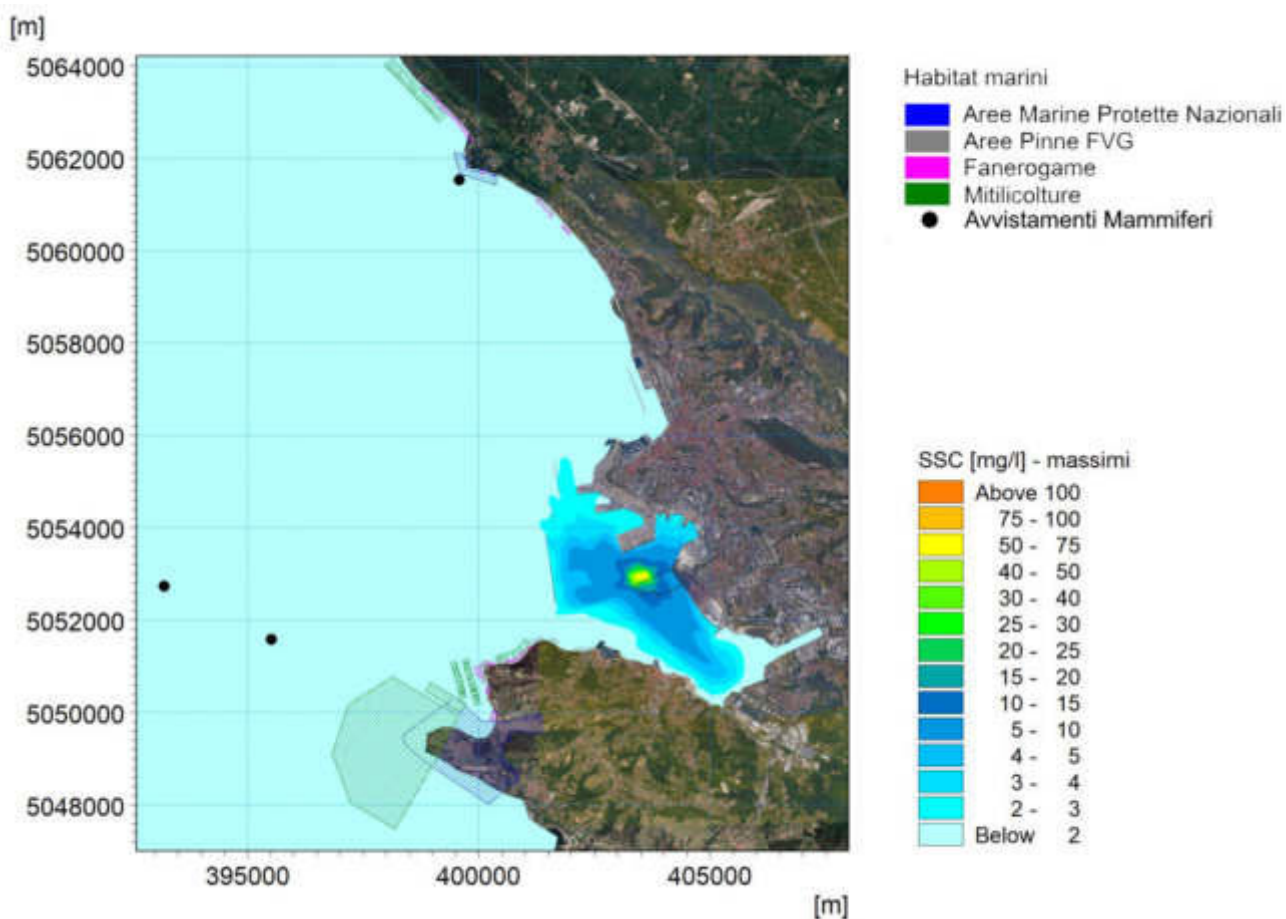


Figura 18 - Massimi di concentrazione in superficie [mg/l] a seguito delle operazioni di dragaggio - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi estivi

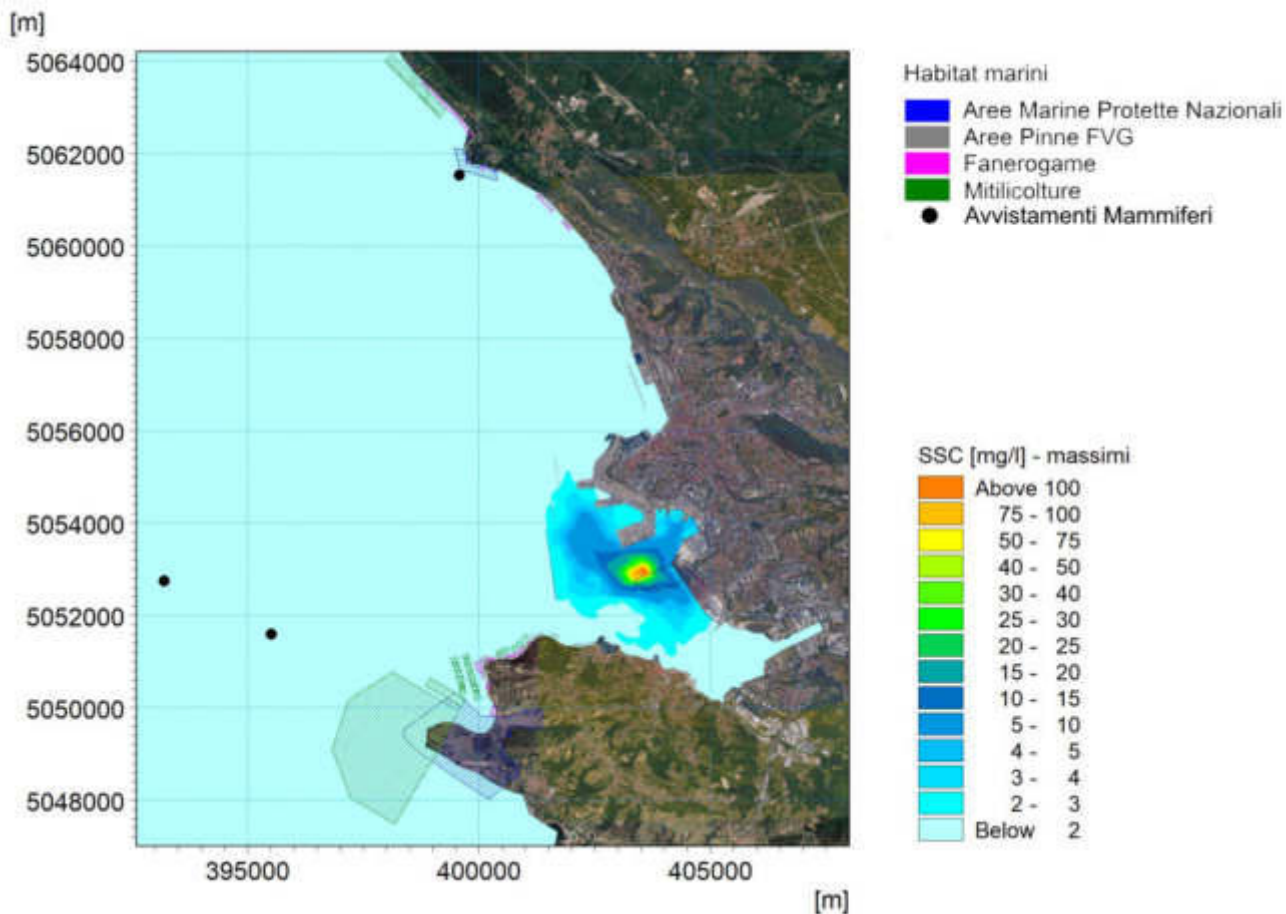


Figura 19 - Massimi di concentrazione a meta' colonna d'acqua [mg/l] a seguito delle operazioni di dragaggio - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi estivi

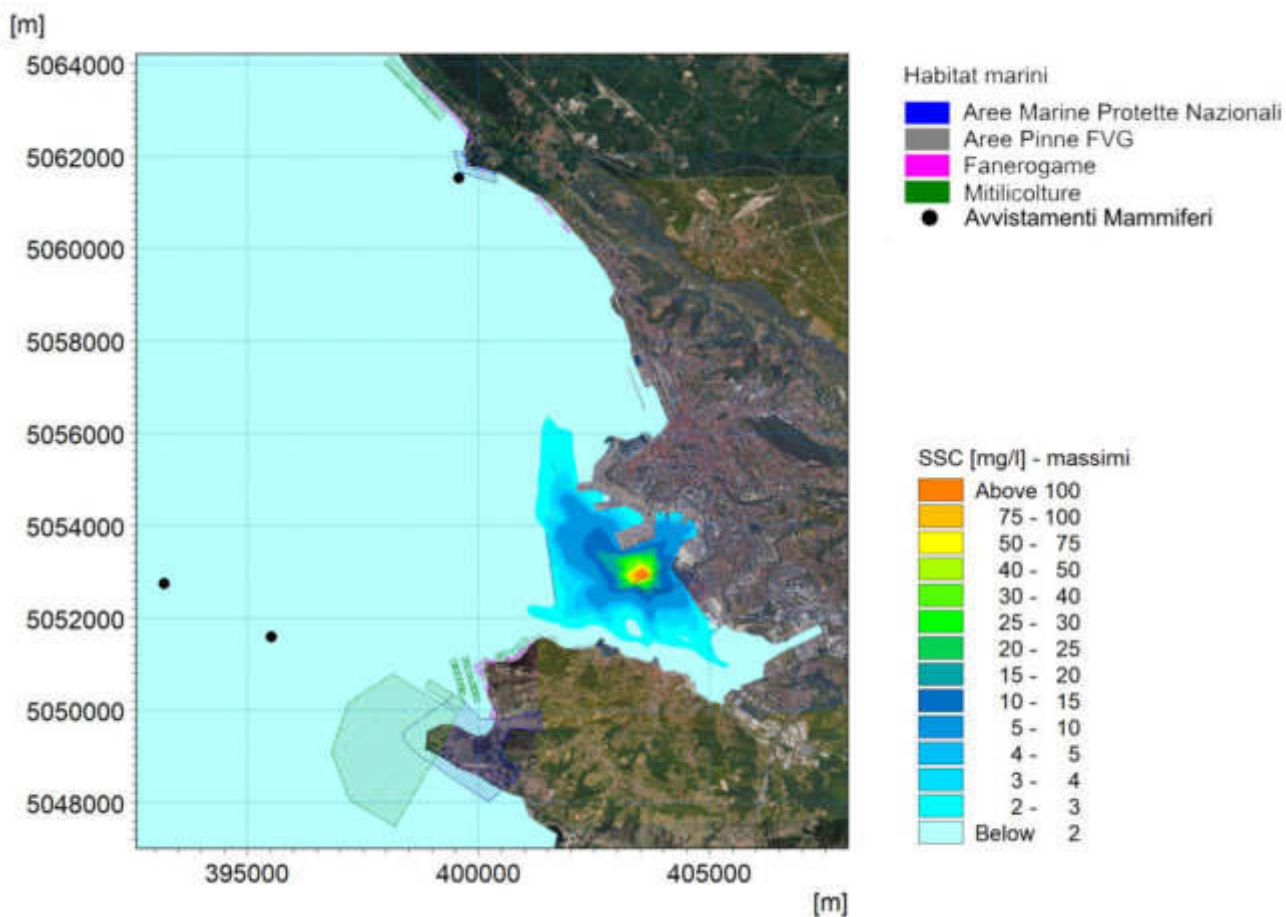


Figura 20 - Massimi di concentrazione al fondo [mg/l] a seguito delle operazioni di dragaggio - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi estivi

# PERSISTENZA DI CONCENTRAZIONE DEL SEDIMENTO IN SOSPENSIONE DA OPERAZIONI DI DRAGAGGIO

Mappe rappresentative dei tempi di persistenza di concentrazioni in sospensione superiori a 2 mg/l (in superficie, a meta' colonna e al fondo) di sedimento, ottenuto come media dei tempi ottenuti per ciascuna simulazione; le mappe fanno riferimento all'intero anno e alle singole stagioni

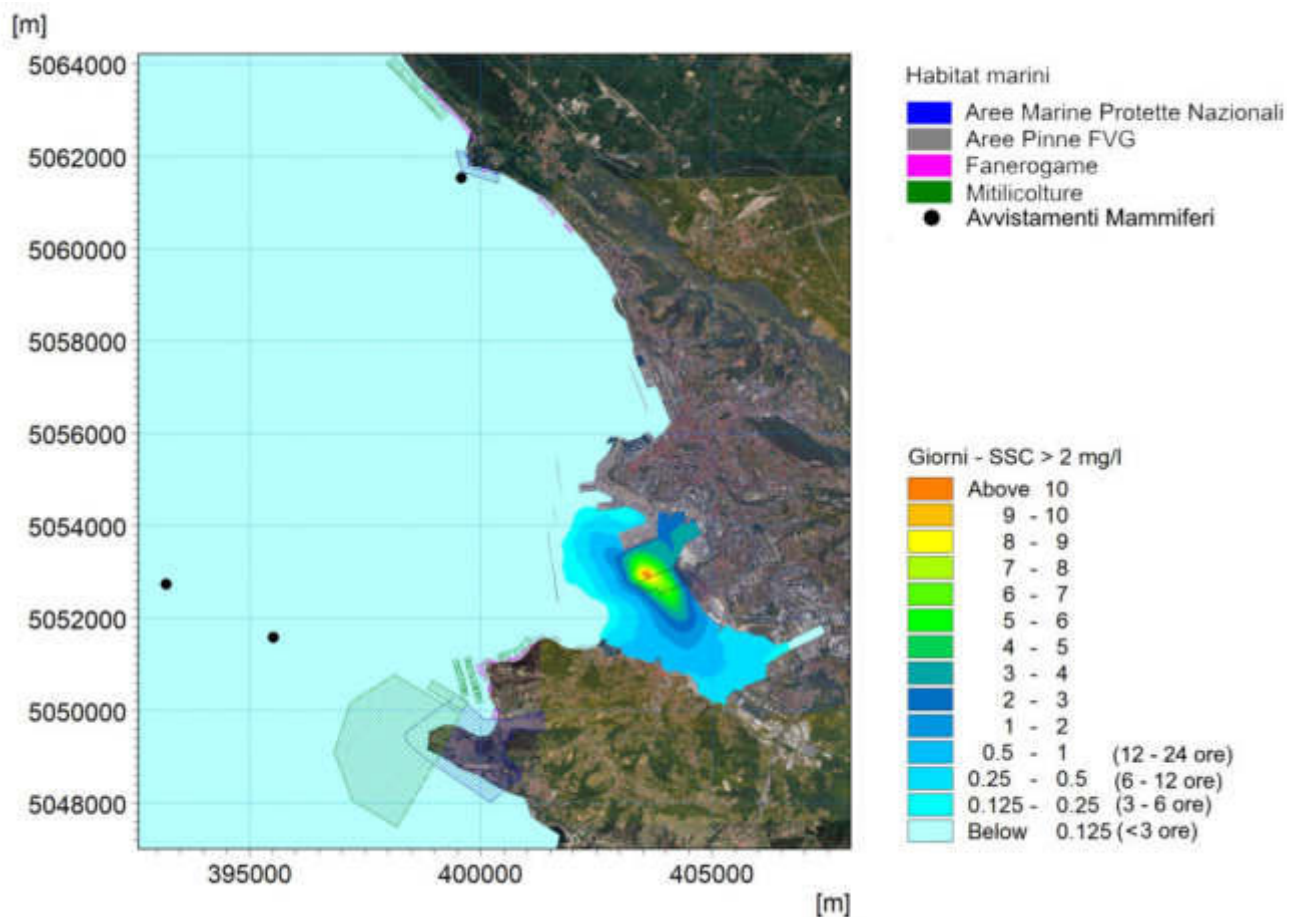


Figura 21 - Tempo di persistenza in giorni di concentrazione superiore a 2 mg/l in superficie a seguito delle operazioni di dragaggio - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate

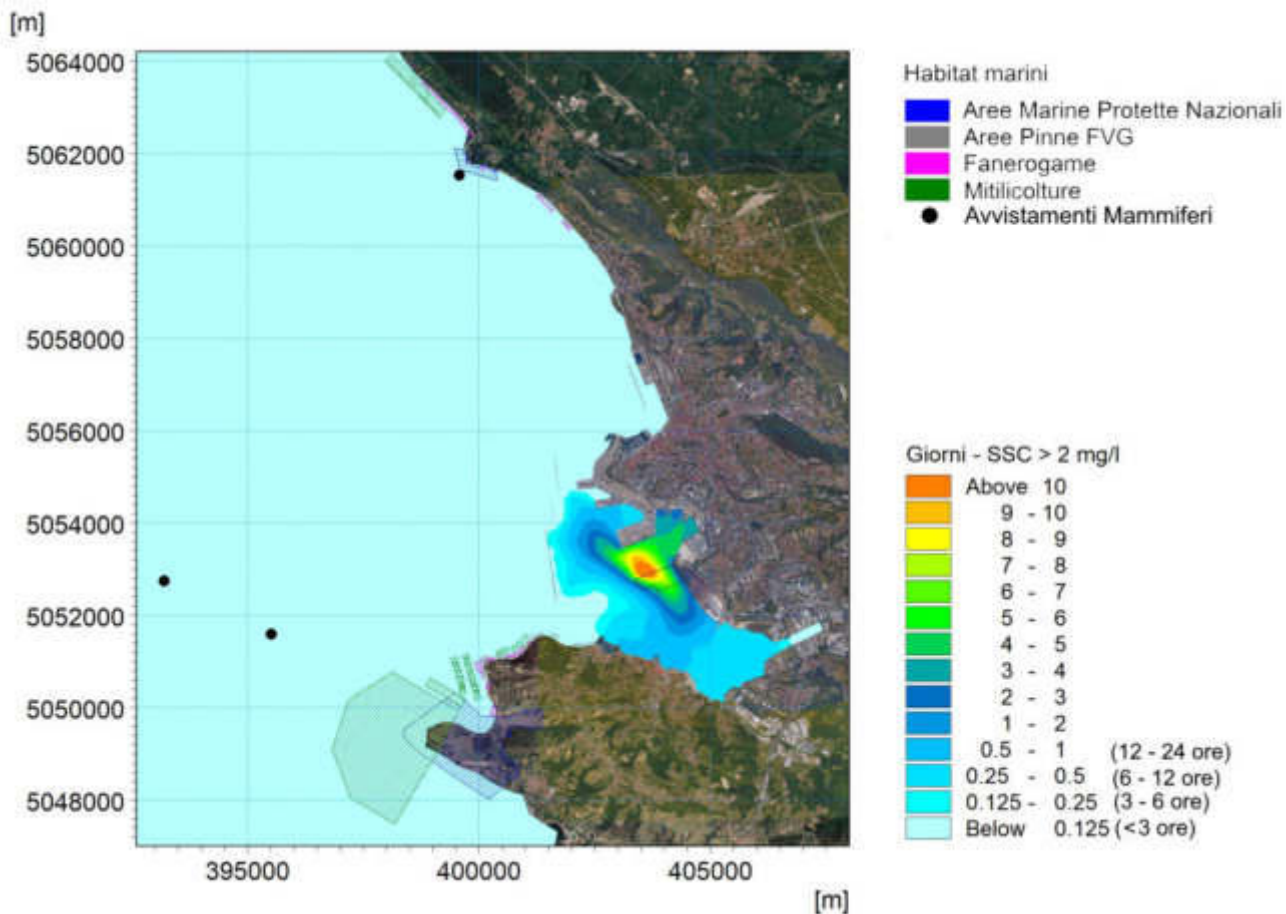


Figura 22 - Tempo di persistenza in giorni di concentrazione superiore a 2 mg/l a meta' colonna a seguito delle operazioni di dragaggio - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate

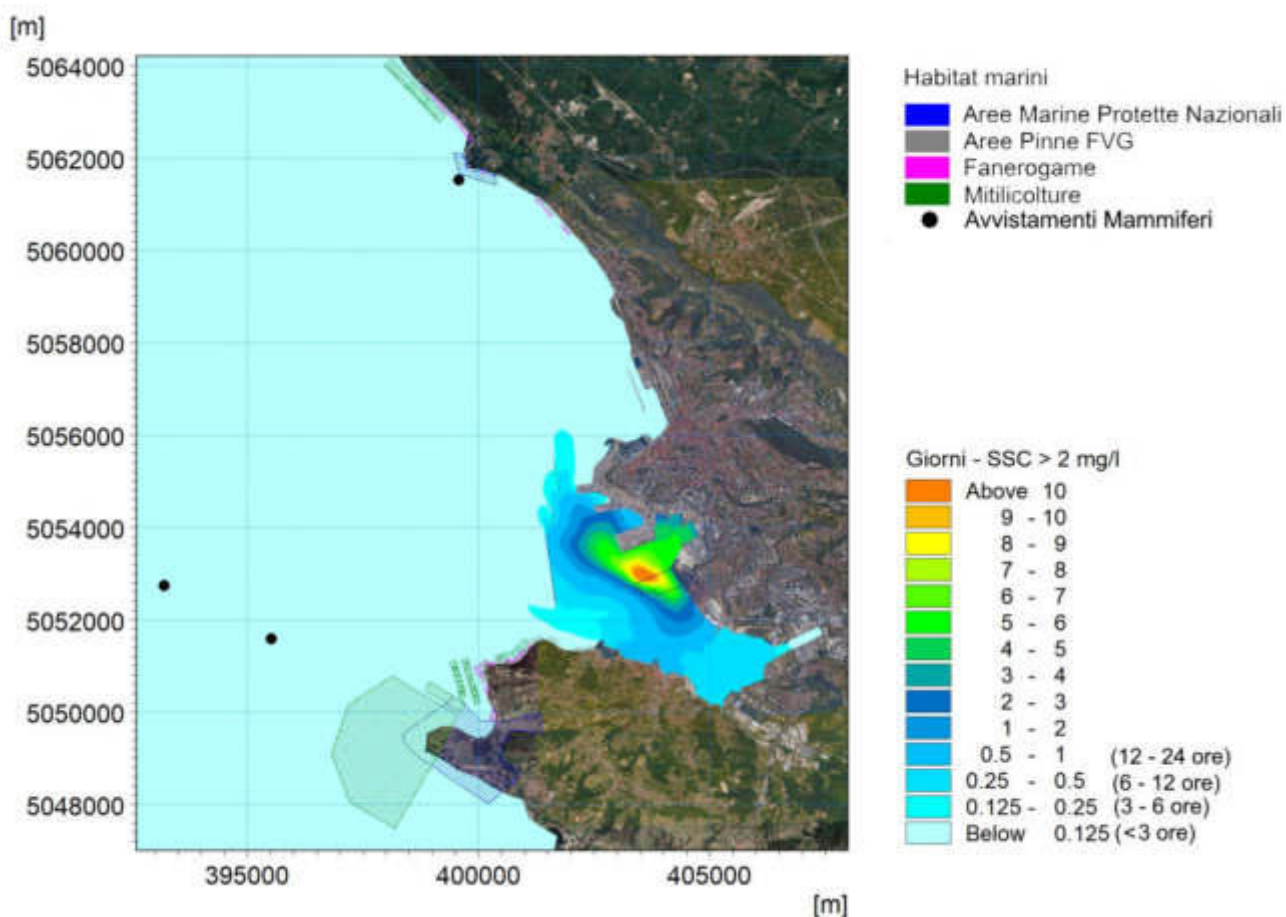


Figura 23 - Tempo di persistenza in giorni di concentrazione superiore a 2 mg/l al fondo a seguito delle operazioni di dragaggio - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate



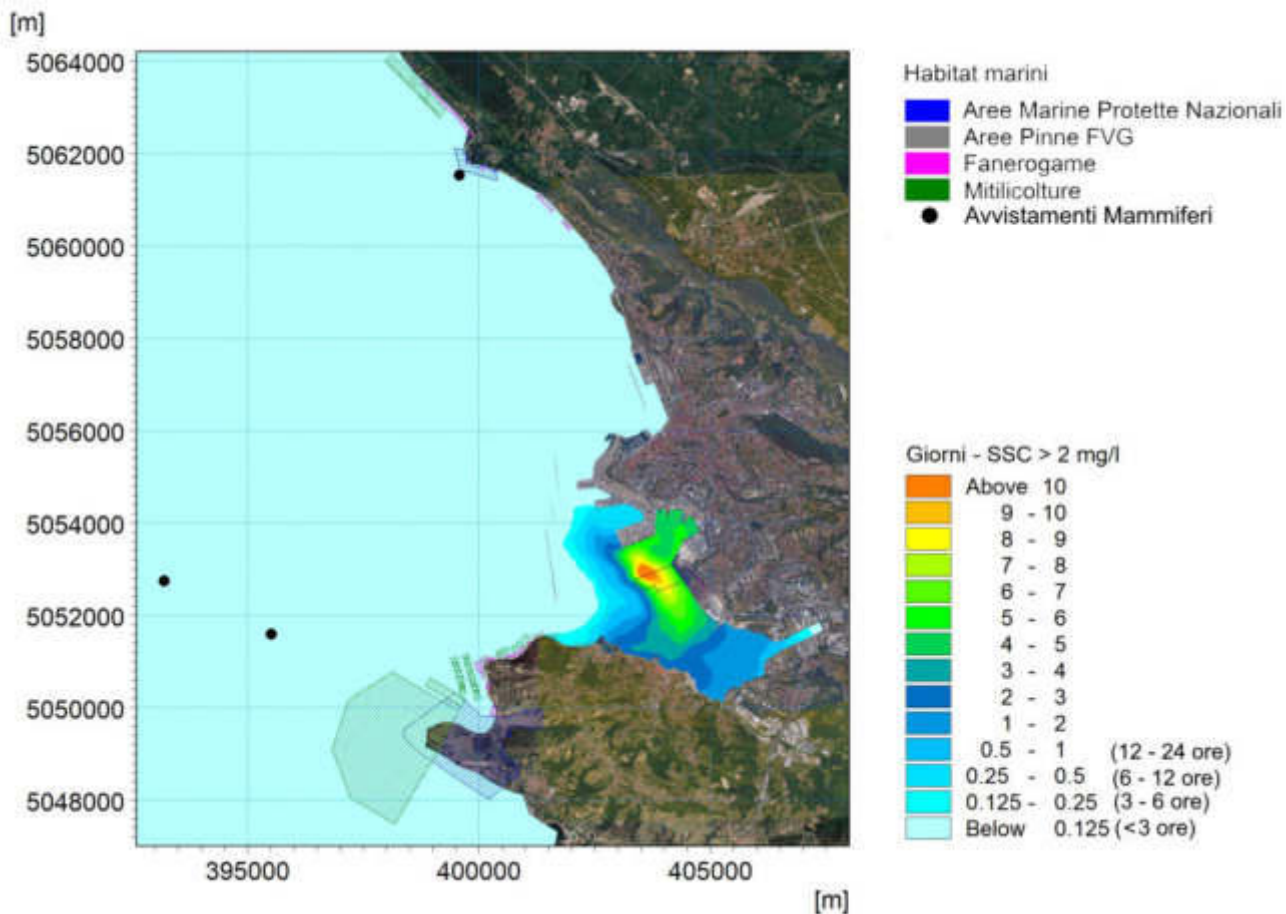


Figura 24 - Tempo di persistenza in giorni di concentrazione superiore a 2 mg/l in superficie a seguito delle operazioni di dragaggio - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi autunnali

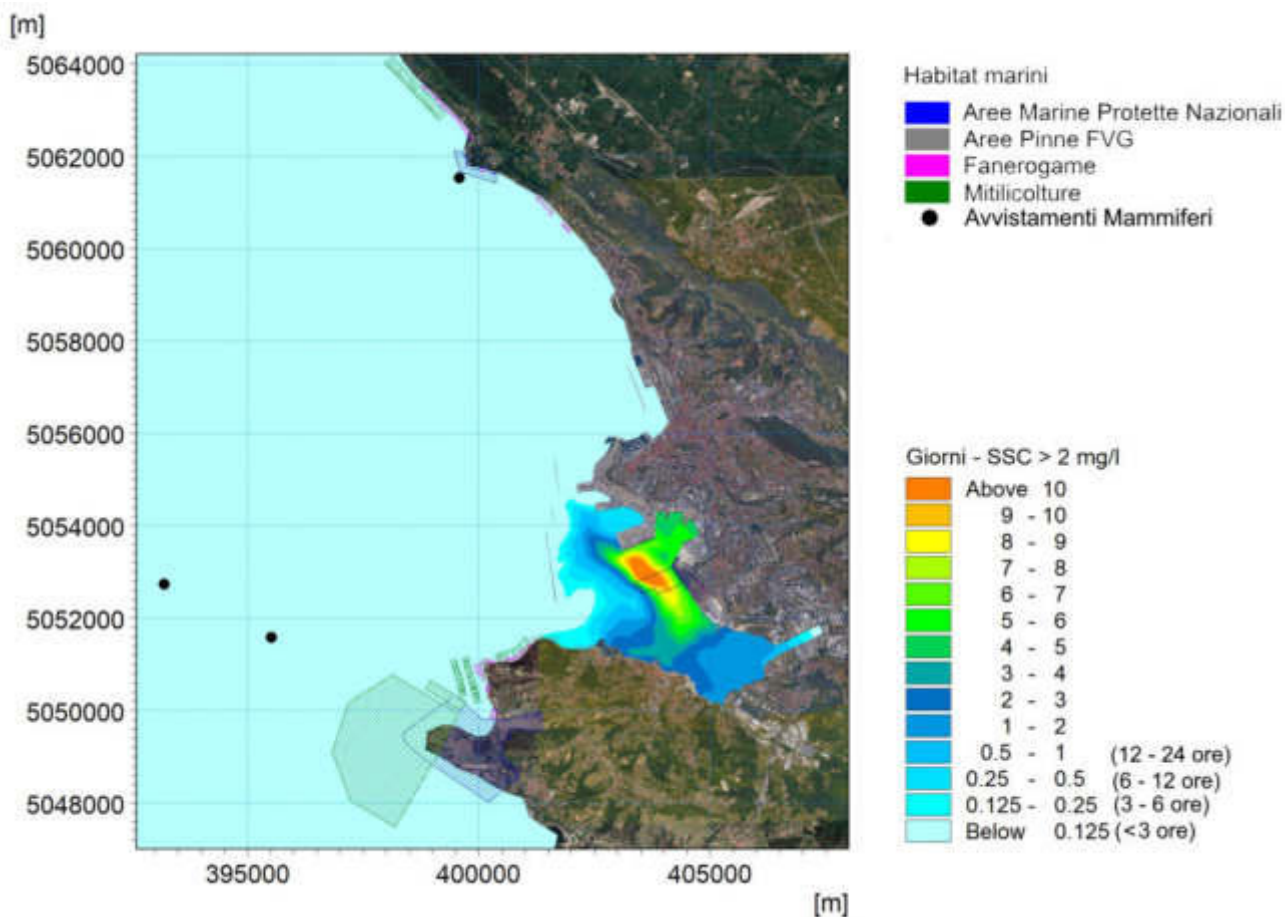


Figura 25 - Tempo di persistenza in giorni di concentrazione superiore a 2 mg/l a meta' colonna a seguito delle operazioni di dragaggio - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi autunnali

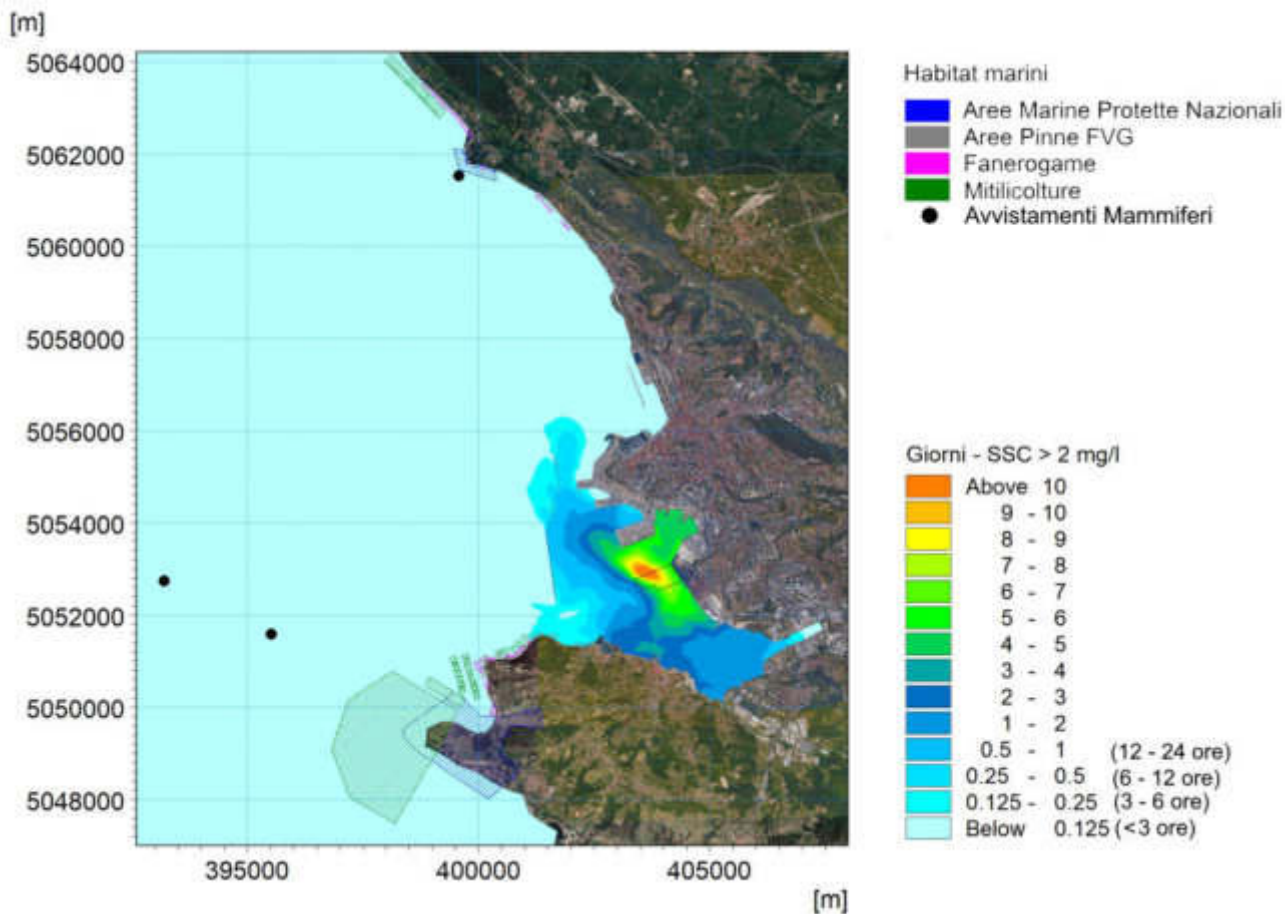


Figura 26 - Tempo di persistenza in giorni di concentrazione superiore a 2 mg/l al fondo a seguito delle operazioni di dragaggio - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi autunnali

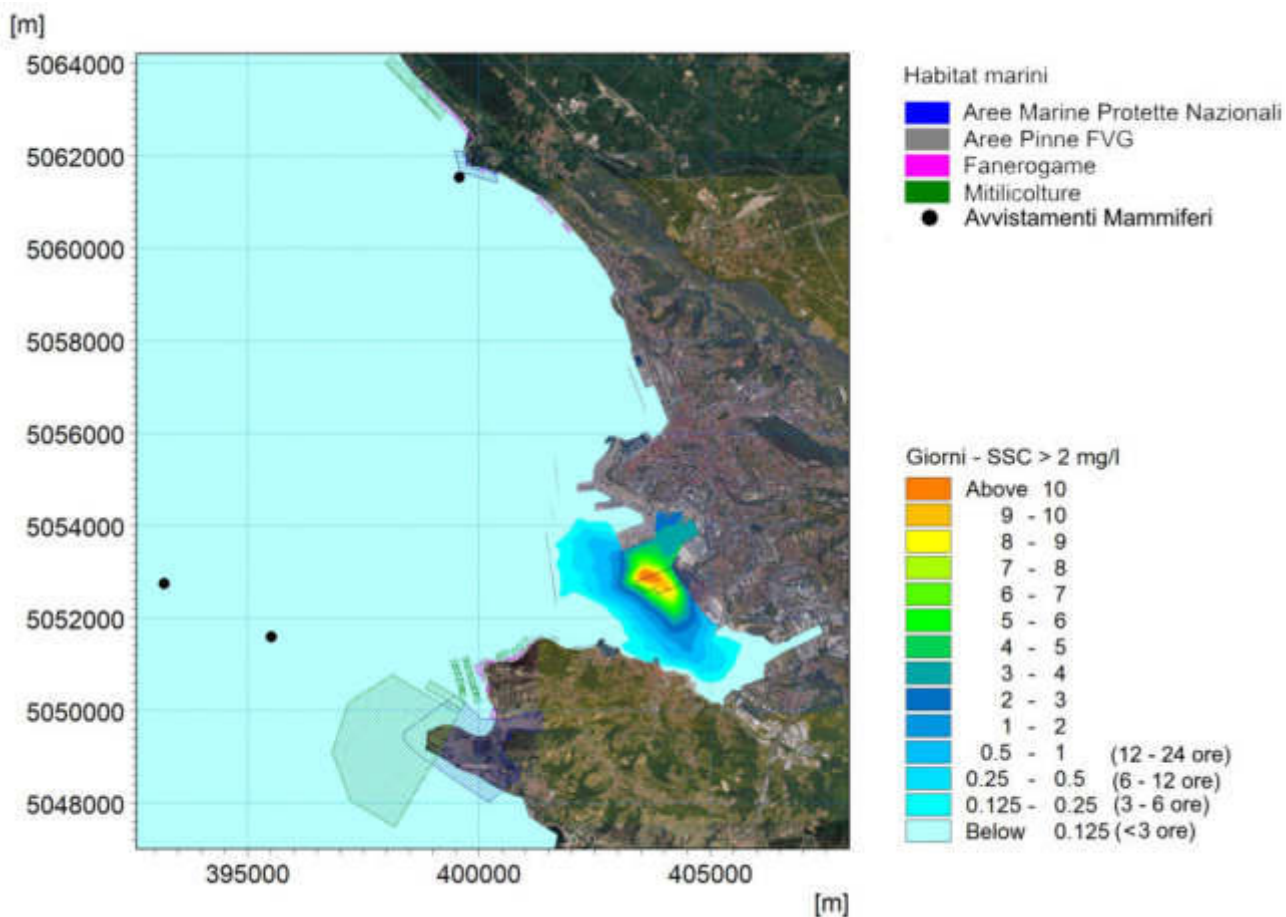


Figura 26 - Tempo di persistenza in giorni di concentrazione superiore a 2 mg/l in superficie a seguito delle operazioni di dragaggio - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi invernali

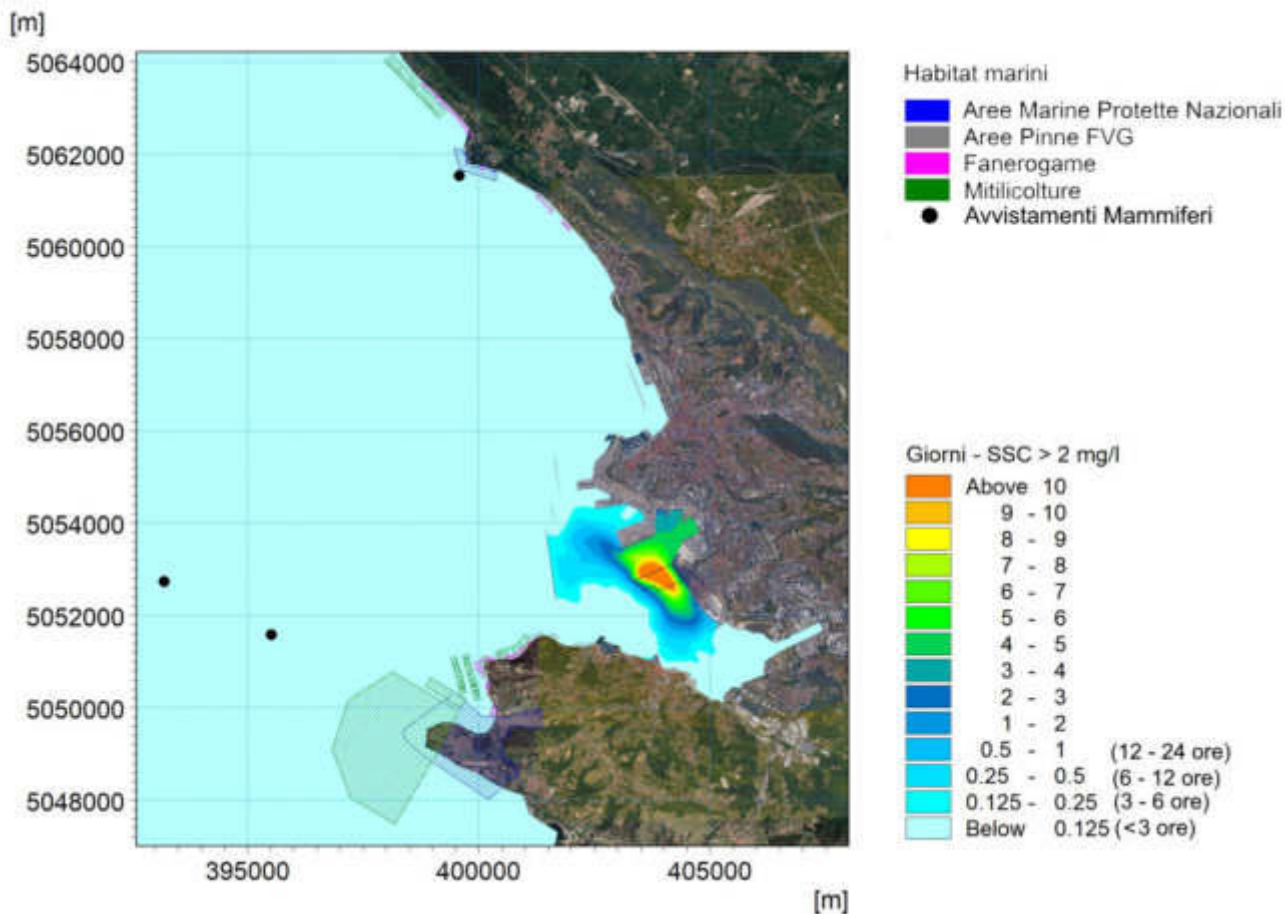


Figura 27 - Tempo di persistenza in giorni di concentrazione superiore a 2 mg/l a meta' colonna a seguito delle operazioni di dragaggio - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi invernali

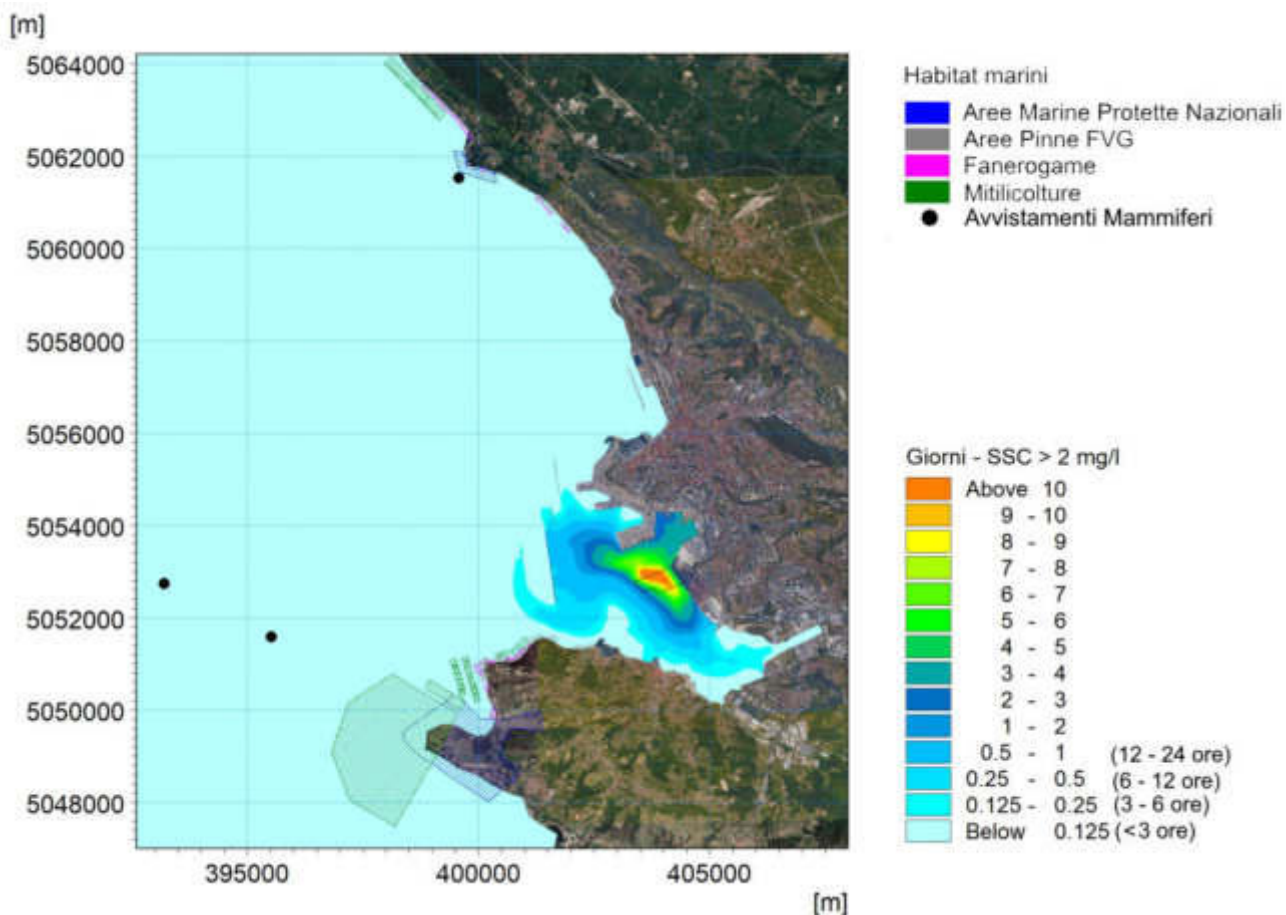


Figura 28 - Tempo di persistenza in giorni di concentrazione superiore a 2 mg/l al fondo a seguito delle operazioni di dragaggio - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi invernali

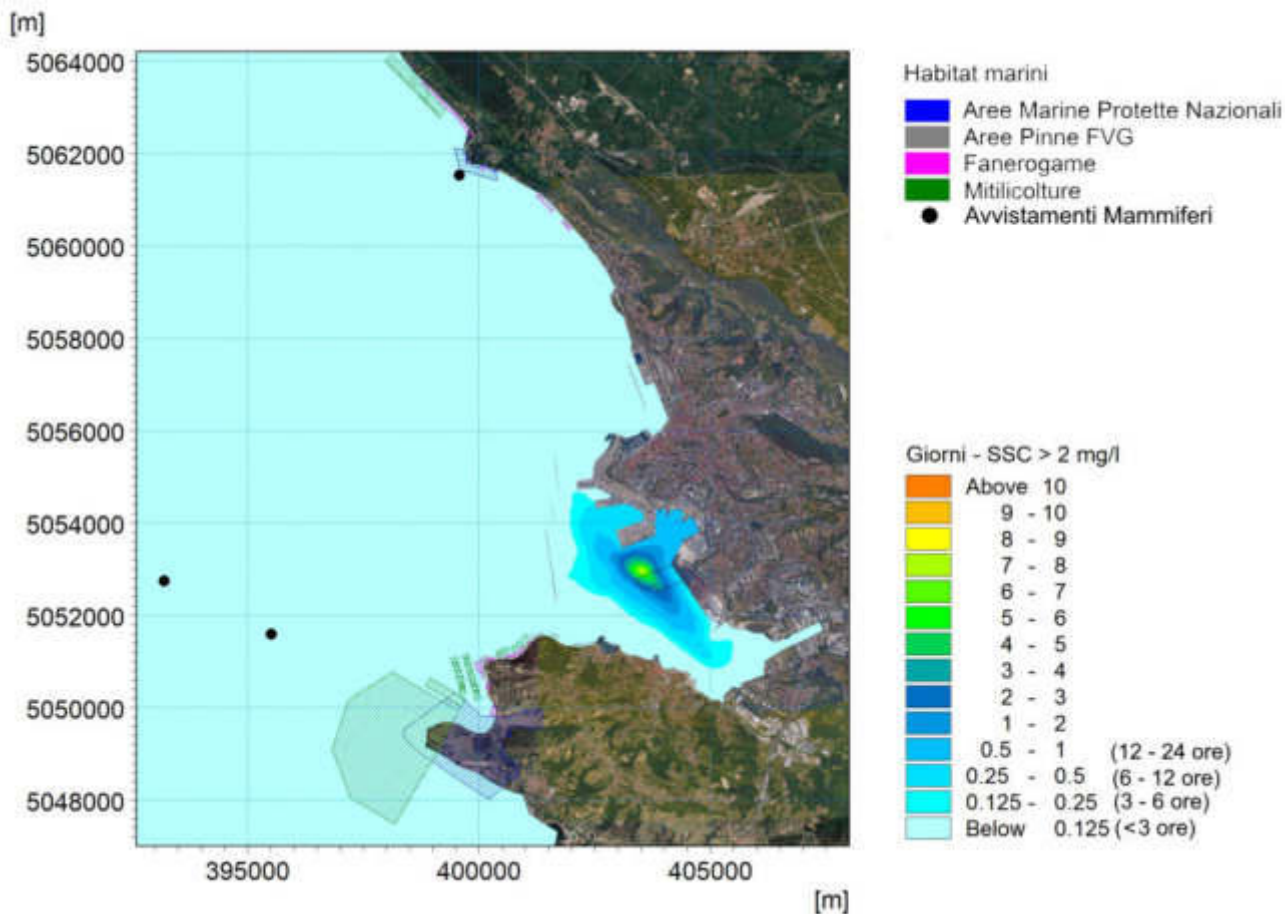


Figura 29 - Tempo di persistenza in giorni di concentrazione superiore a 2 mg/l in superficie a seguito delle operazioni di dragaggio - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi primaverili

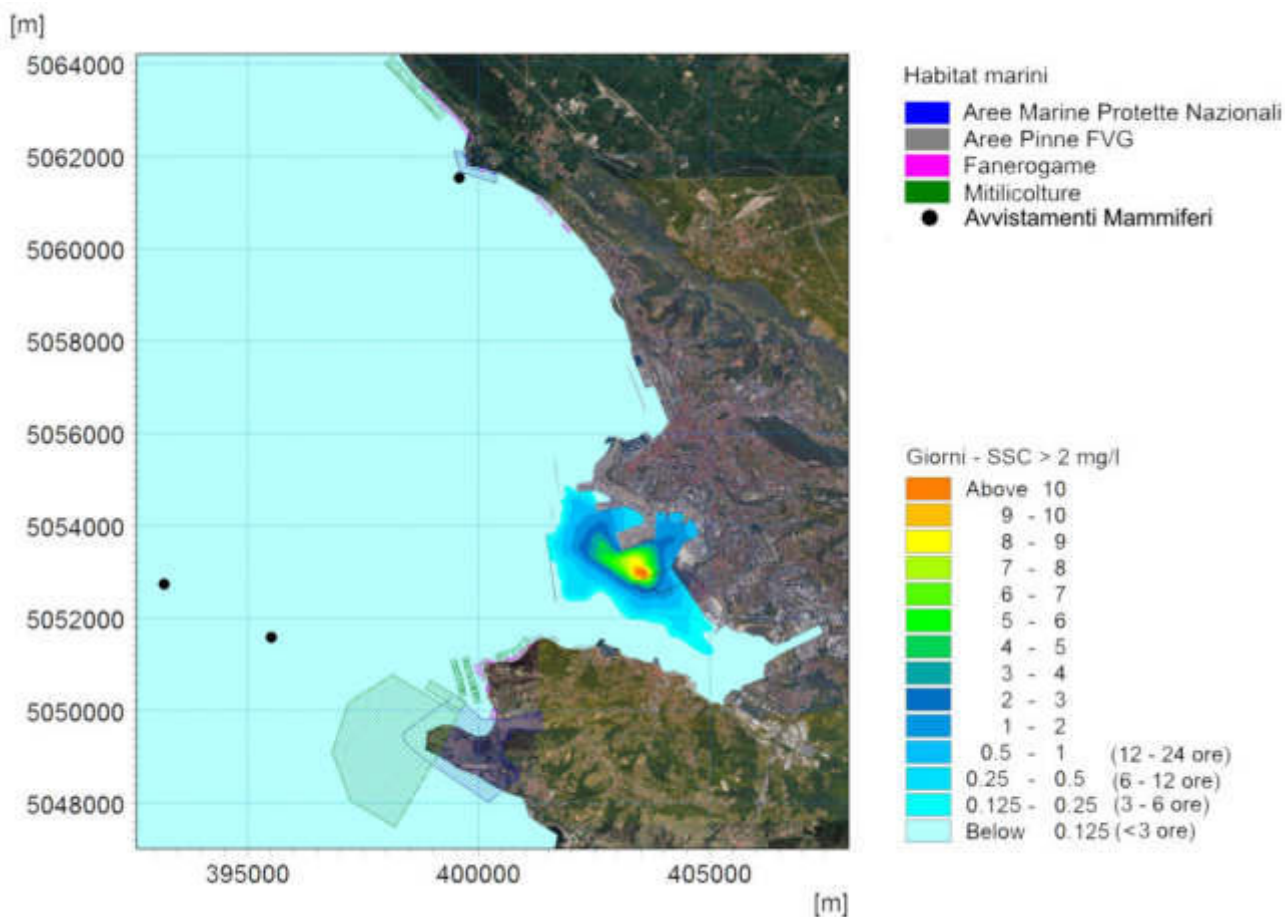


Figura 30 - Tempo di persistenza in giorni di concentrazione superiore a 2 mg/l a meta' colonna a seguito delle operazioni di dragaggio - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi primaverili

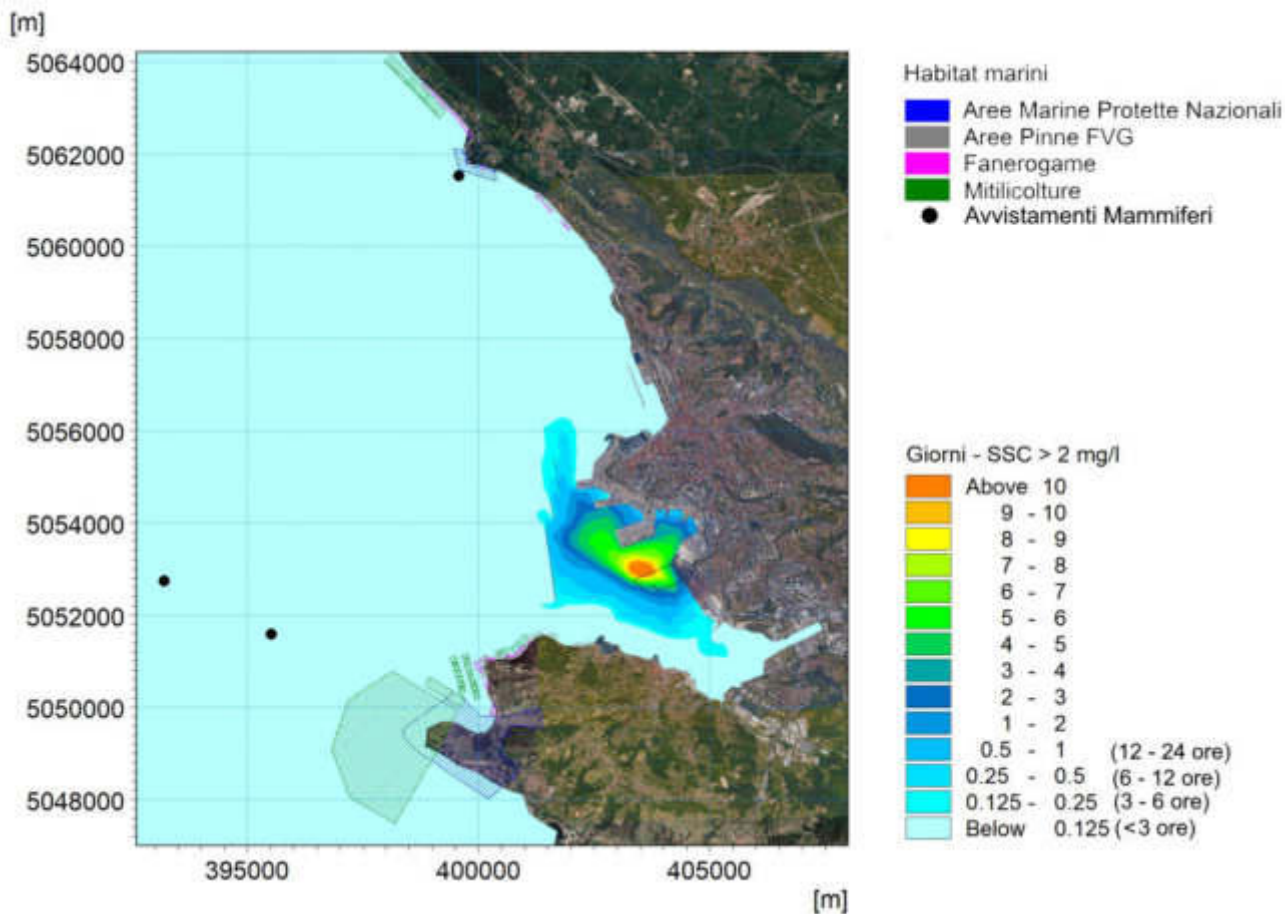


Figura 31 - Tempo di persistenza in giorni di concentrazione superiore a 2 mg/l al fondo a seguito delle operazioni di dragaggio - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi primaverili

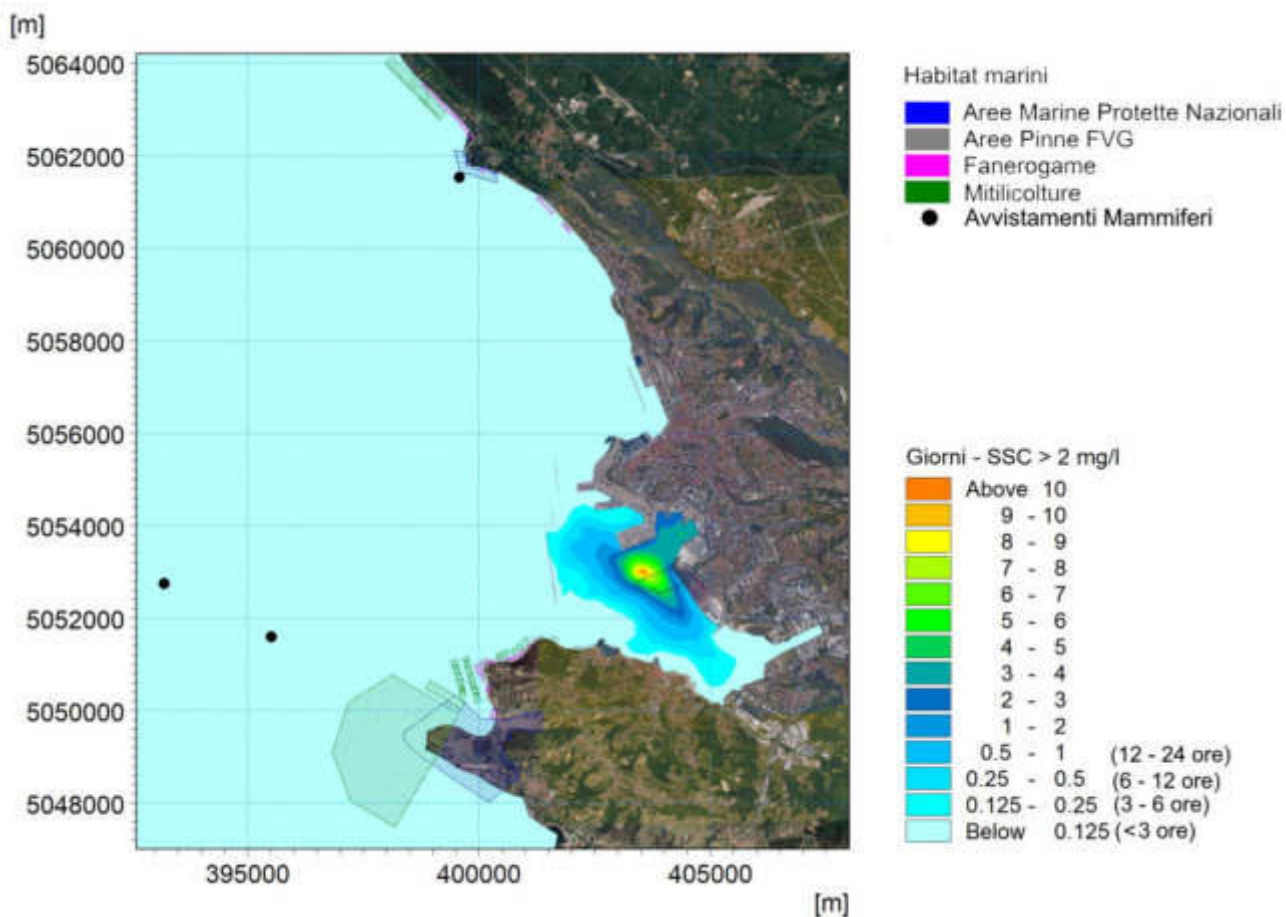


Figura 32 - Tempo di persistenza in giorni di concentrazione superiore a 2 mg/l in superficie a seguito delle operazioni di dragaggio - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi estivi

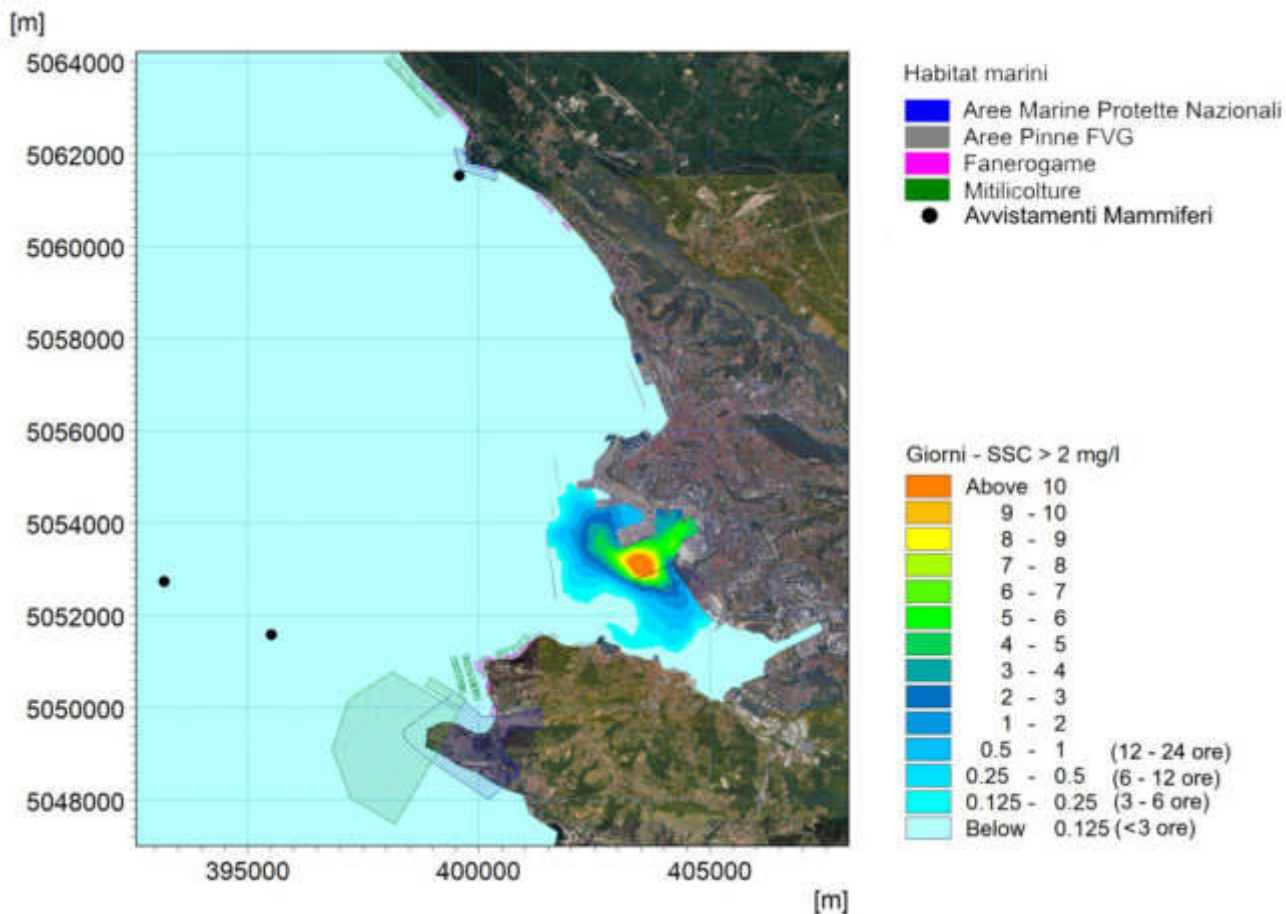


Figura 33 - Tempo di persistenza in giorni di concentrazione superiore a 2 mg/l a meta' colonna a seguito delle operazioni di dragaggio - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi estivi

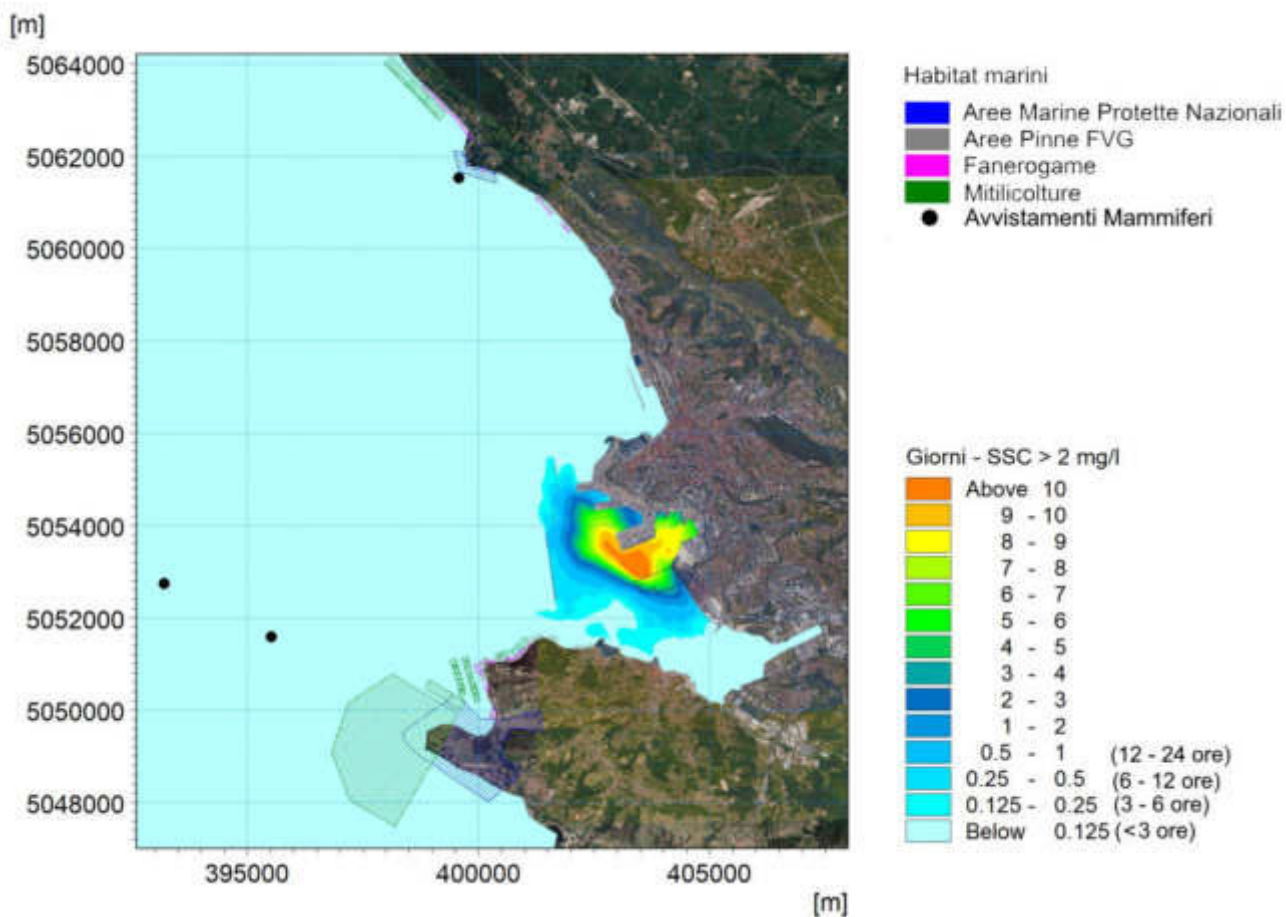


Figura 34 - Tempo di persistenza in giorni di concentrazione superiore a 2 mg/l al fondo a seguito delle operazioni di dragaggio - media dei valori massimi di tutte le simulazioni effettuate per i mesi estivi