



Allegato 1

A cura di:

ARPAL (Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente Ligure)

SIMULAZIONI MODELLISTICHE

Siamo ormai abituati a vedere le navi da crociera stazionare varie ore al largo di Portofino e di S. Margherita. Abbiamo misurato i parametri chimici e biologici che possono darci un'idea della qualità dell'ambiente marino nel golfo interessato. Ma quali potrebbero essere le conseguenze ambientali di un incidente ad una nave in sosta, con sversamento di idrocarburi in mare, magari seguito da un incendio? E quali sarebbero le conseguenze di un analogo incidente se l'area di fonda fosse più vicina alla costa?

OIL SPILL

Per rispondere alle precedenti domande, il lavoro si è concentrato sulla valutazione comparativa delle possibili differenze di impatto costiero a seguito di ipotetici rilasci in mare di idrocarburi provenienti dai diversi punti di stazionamento delle navi, a seconda che siano compresi nell'attuale area di fonda o in quella di progetto, rispettivamente a 0.7 e a 0.3 miglia di distanza dalla costa.

A tale scopo è stata utilizzata la catena modellistica operativa del Mar Ligure per la previsione delle correnti e del trasporto di macchie di idrocarburi, basata su una piattaforma di prodotti MIKE (DHI). Il modello idrodinamico tridimensionale di circolazione è realizzato mediante l'utilizzo del codice di calcolo MIKE 3 HD, che simula le variazioni di livello e corrente in funzione di tutti i fenomeni che hanno influenza sull'idrodinamica degli ambienti oceanici e costieri: gradienti di densità (temperatura/salinità), effetto delle maree, effetto del vento, scambio termico con l'atmosfera, forza di Coriolis, ed apporti fluviali. MIKE 3 utilizza un metodo di calcolo numerico ai volumi finiti per la discretizzazione delle equazioni di flusso e trasporto costruito, nella dimensione orizzontale, su maglia triangolare non strutturata (a risoluzione variabile dal largo e verso costa), applicata su un dominio di calcolo sufficientemente esteso da comprendere le principali dinamiche del Mar Ligure. In particolare, il dominio di calcolo comprende tutto l'arco costiero indicativamente tra Livorno e Nizza. La dimensione verticale è discretizzata nel modello mediante 10 livelli a spessore variabile (sigma-layers) e 30 livelli a spessore costante (z-layers) per un totale di 40 livelli.

Per il funzionamento operativo, il modello quotidianamente riceve, ai bordi aperti, le condizioni al contorno dal modello di circolazione del Mar Mediterraneo MFS (Mediterranean Forecast System), disponibile attraverso il programma europeo COPERNICUS e operato attraverso il Consorzio MyOcean, alimentato internamente dalle forzanti atmosferiche provenienti dal modello meteorologico MOLOCH, e idrologiche del modello DRiFt entrambi sviluppati presso il CFMI-PC di ARPAL. Il modello, così concepito rappresenta quindi un downscaling ad alta risoluzione del modello del Mediterraneo (Figura 1): tiene in conto dell'andamento della circolazione a scala "oceanografica" (6,5 km) e sviluppa internamente le strutture dei campi di corrente in funzione delle condizioni meteo-idrologiche e batimetriche locali fino ad una risoluzione massima di circa 500 m sotto costa. La catena operativa fornisce due volte al giorno la previsione di corrente, livello del mare, salinità e temperatura per le successive 48 ore.

I campi di corrente idrodinamici forniscono la base per una serie di modelli applicativi con finalità ambientali tra cui il modello di trasporto di idrocarburi Oil Spill, qui utilizzato, la cui operatività è stata sviluppata all'interno del progetto SEAGOSS. Il modello di Oil Spill è basato su un modulo dispersivo di particelle lagrangiane in mare (Particle Tracking) che forniscono le informazioni sulle traiettorie e sulle velocità di spostamento generate dalla corrente e dal vento superficiale, e un modulo relativo alle trasformazioni chimiche del prodotto organico sversato in funzione delle variabili di stato (Eco Lab).

Nel corso delle stagioni estiva e autunnale 2014, sono state predisposte una serie di simulazioni in "tempo reale" di sversamento in mare di una quantità prefissata di carburante da sorgenti fisse (Fixed Oil Spill) posizionate all'interno delle aree di fonda delle navi. Lo scopo principale è stato quello di esaminare la casistica delle traiettorie possibili e i tempi di arrivo del materiale galleggiante sui litorali a seguito di un ipotetico incidente.

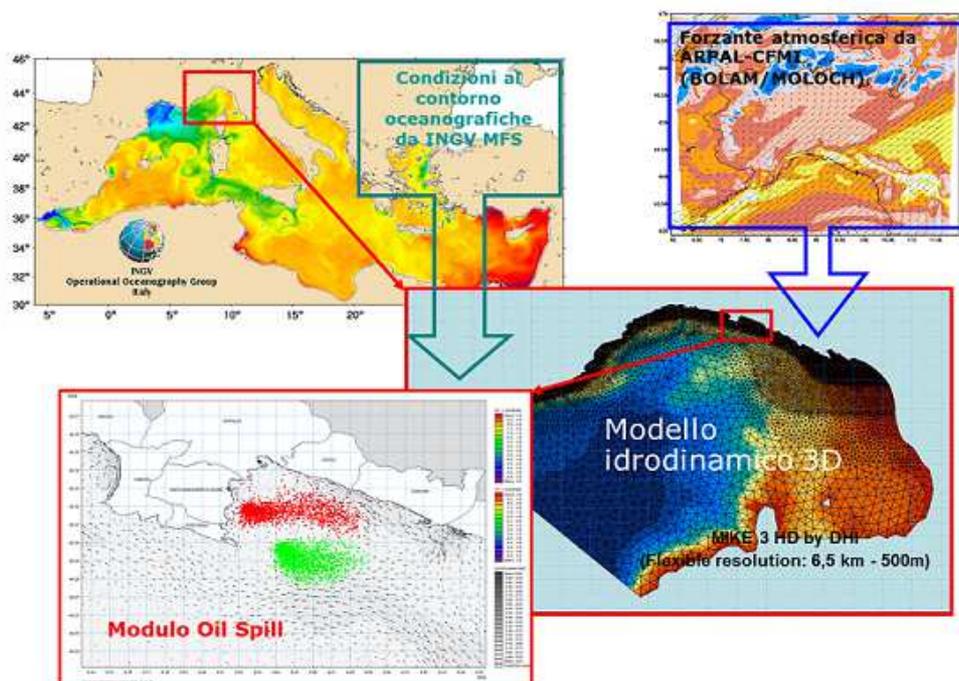


Figura 1 - Schema della catena operativa Mar Ligure - ARPAL

Data la relativa estensione delle aree di fonda, si è proceduto alla scelta di un numero limitato di punti fissi da usare come origine del rilascio, per rappresentare la situazione attuale e la situazione di progetto. Inizialmente si è proceduto alla scelta di due coppie di punti, posizionati approssimativamente in corrispondenza delle due estremità (latitudine NORD e latitudine SUD) più vicine alla costa di ognuna delle due aree di fonda (Figura 2).

Coordinate iniziali sversamento	Latitudine (gradi decimali)	Longitudine (gradi decimali)
ATTUALE NORD	44.312	9.236
ATTUALE SUD	44.298	9.242
PROGETTO NORD	44.32	9.224
PROGETTO SUD	44.3	9.23

Successivamente, dopo una prima fase di screening della sensibilità dei risultati della simulazione rispetto alle condizioni iniziali, sono stati utilizzati come sorgente di inquinamento i due punti estremi delle due aree ("ATTUALE SUD" e "PROGETTO NORD") che hanno fornito i risultati più divergenti. Nel presente rapporto si fa quindi riferimento a questi due punti di rilascio, rimanendo comunque aperta la possibilità di riposizionare la sorgente dello "spillamento" per valutazioni più approfondite.

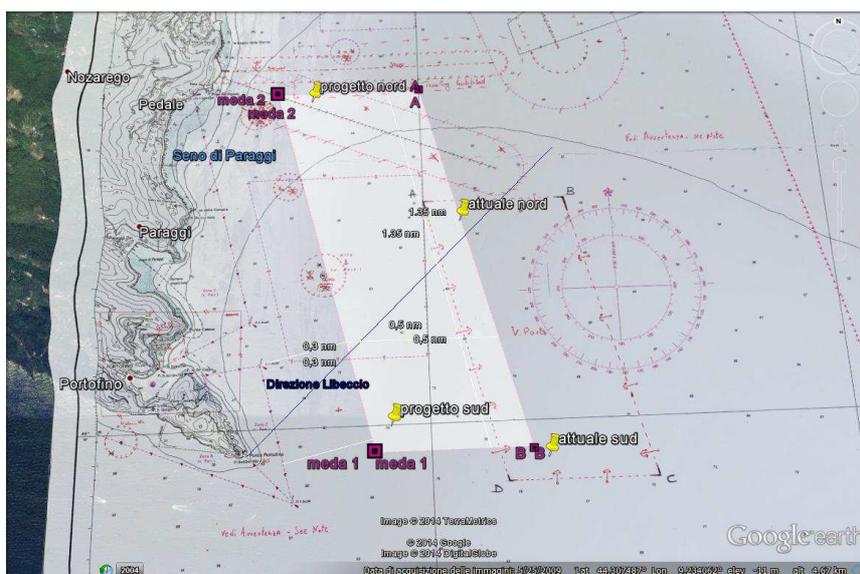


Figura 2 - Estensione della zona di fonda e relativi punti di riferimento per i rilasci.

Il moto delle particelle galleggianti di idrocarburi dipende sostanzialmente dalle strutture idrodinamiche del layer superficiale, che risente maggiormente dell'influenza del campo di vento locale sulla superficie del mare. Il meteo ha una doppia influenza sul destino delle particelle: entra nel modello idrodinamico come forzante meteorologica sulla superficie del mare ed entra nel modello di Oil Spill come forzante che trascina direttamente le particelle galleggianti nella direzione del vento. Ogni simulazione rappresenta quindi la composizione dinamica spazio-temporale dei due fattori di trasporto "idrodinamico" e "meteorologico".

In ognuna di esse viene simulato il rilascio continuo e costante di una miscela di idrocarburi (Heavy Fuel) con un rateo di uscita di circa 100 kg/ora, per un periodo di 48 ore. Per ogni run del modello sono riportati: uno screenshot rappresentativo della mappa dei vettori di corrente del layer superficiale del modello idrodinamico, e le mappe di tempo di arrivo previsto (arrival time) delle particelle nel dominio di calcolo dei due casi (situazione Attuale e di Progetto).

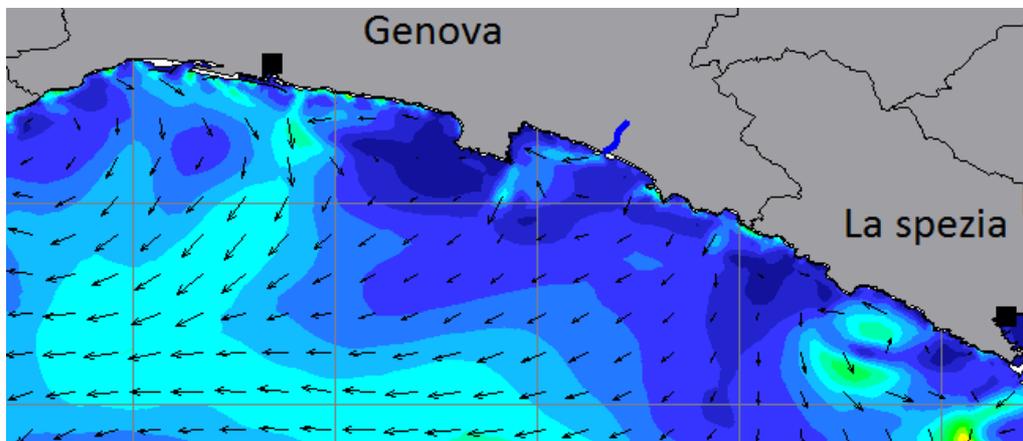
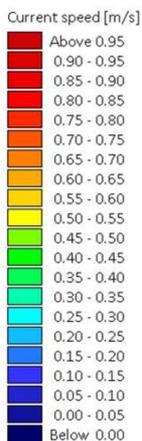
A scopo di controllo e validazione, sono stati esaminati i dati forniti dai sensori della rete osservativa ARPAL più prossimi all'area di studio, nello stesso periodo di 48 ore oggetto della previsione:

- I dati correntometrici registrati dalla boa MEDA di Portofino alla profondità 1,5 m (grafico dei vettori di intensità/direzione)
- I dati anemometrici della stazione meteorologica di Monte Portofino (rosa dei venti) .

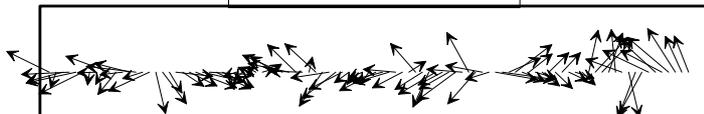
I risultati riportati nelle seguenti schede rappresentano una scelta ragionata delle numerose simulazioni in tempo reale eseguite nell'arco della stagione, organizzate in "scenari" che coprono un'ampia casistica delle principali direzioni di deriva delle particelle.

Scenario 1: Trasporto a Ovest (26-27/10/2014)

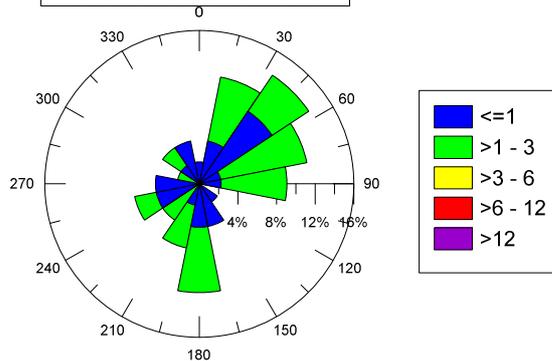
Simulazione Idrodinamico



MEDA corrente 26-27/10/2014

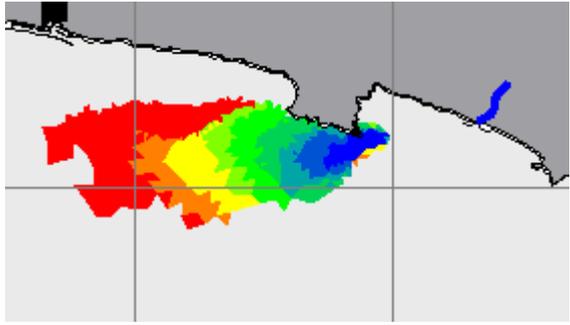
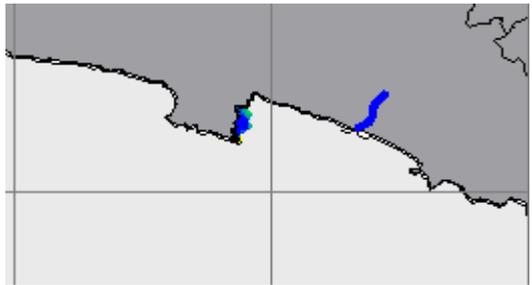


M.Portofino Vento 26-27/10/ 2014

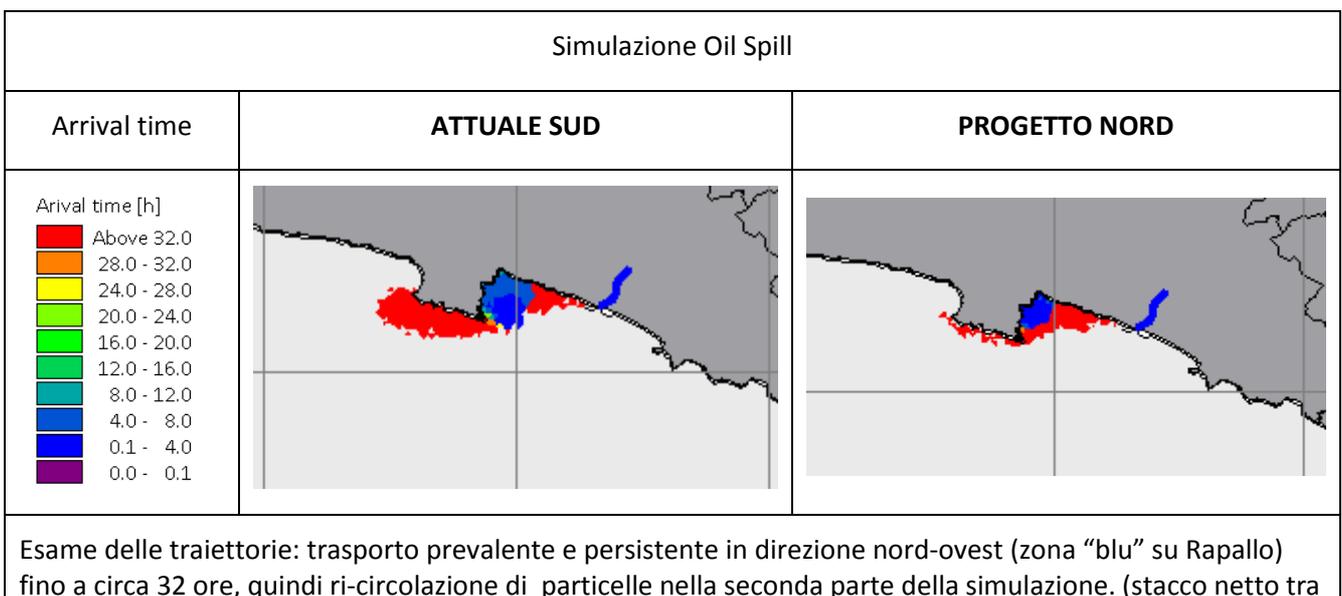
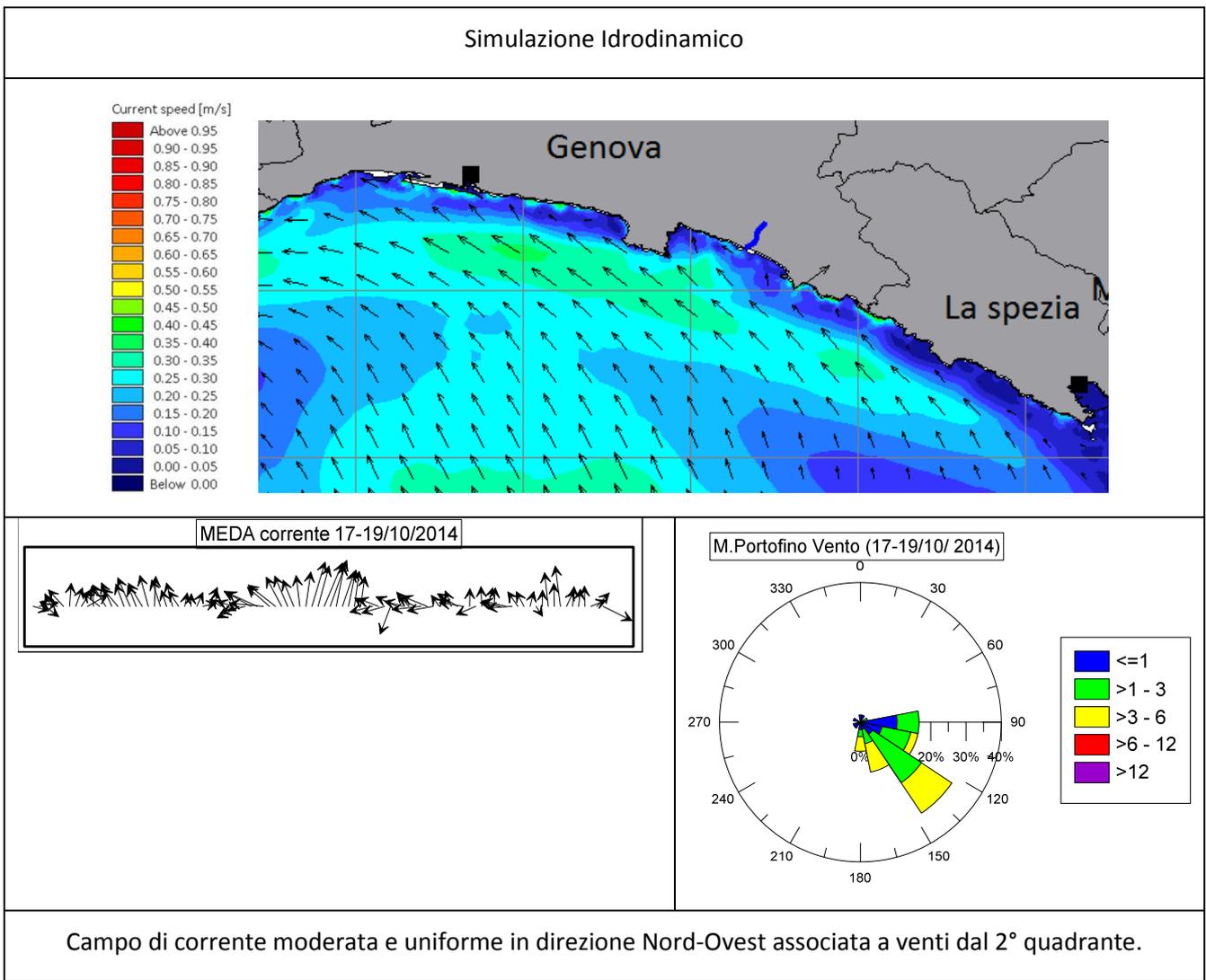


Al largo debole campo di corrente in direzione Ovest / Sud-Ovest, associata venti deboli dal 1° quadrante, con risultante corrente in uscita dal Golfo e aggiramento del Promontorio.

Simulazione Oil Spill

Arrival time	ATTUALE SUD	PROGETTO NORD
<p>Arival time [h]</p> <ul style="list-style-type: none"> Above 32.0 28.0 - 32.0 24.0 - 28.0 20.0 - 24.0 16.0 - 20.0 12.0 - 16.0 8.0 - 12.0 4.0 - 8.0 0.1 - 4.0 0.0 - 0.1 		
<p>Esame delle traiettorie: Netto trasporto verso ovest.</p> <p>Progetto NORD: impatto rapido su Portofino zona C e S. Margherita</p> <p>Attuale SUD: impatto sulla zona C dell'area di Portofino e fuga delle particelle dal Golfo del Tigullio con successivo coinvolgimento della zona A.</p>		

Scenario 2: Trasporto a Nord-Ovest (17-19/10/2014)



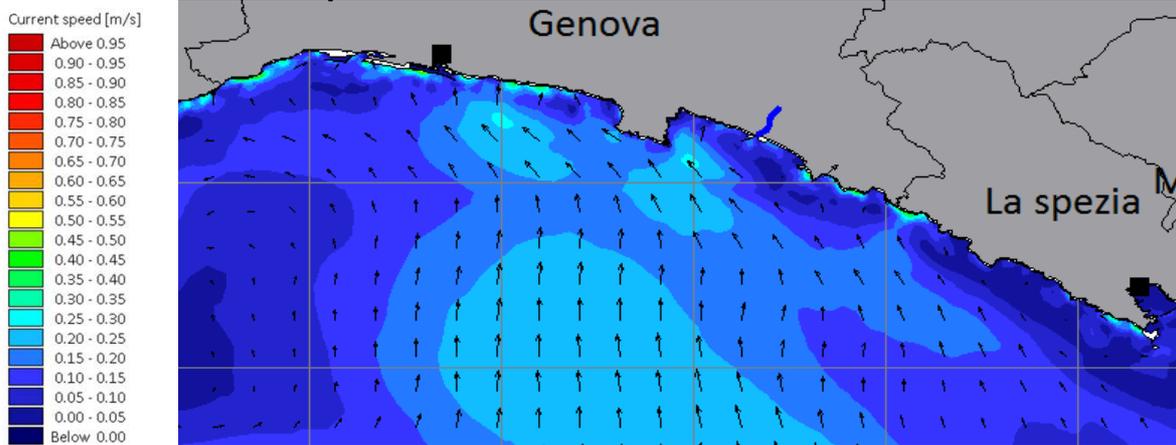
zona "blu" e zona "rossa").

Progetto NORD: spiaggiamento prevalente su S. Margherita, Rapallo, Zoagli con tempi di arrivo inferiori a 4 ore.

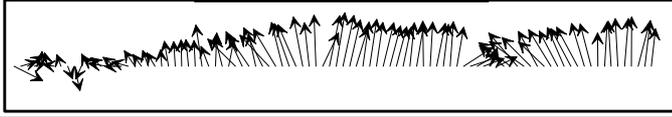
Attuale SUD: stesso spiaggiamento con tempi di residenza superiori (4h – 8h); coinvolgimento della zona C dell'area di Portofino.

Scenario 3: Circolazione Tigullio (N-NW) (19-21/10/2014)

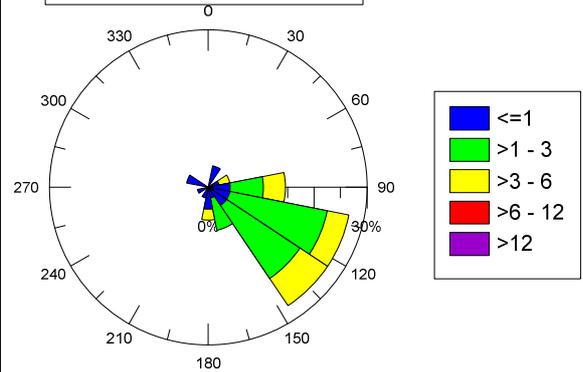
Simulazione Idrodinamico



MEDA corrente 19-21/10/2014



M.Portofino Vento 19-21/10/ 2014

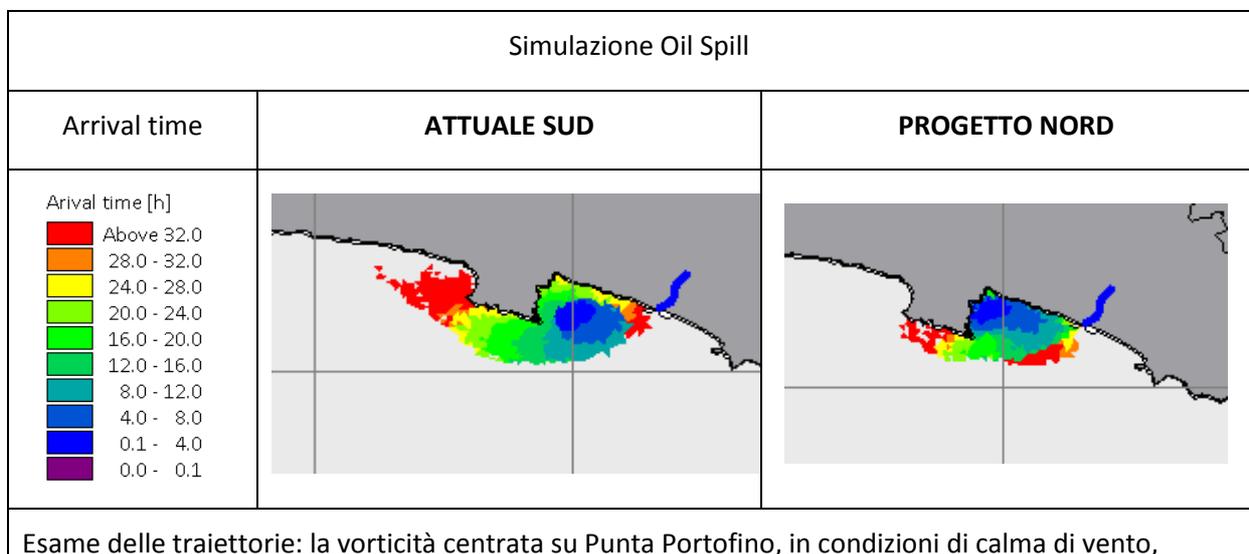
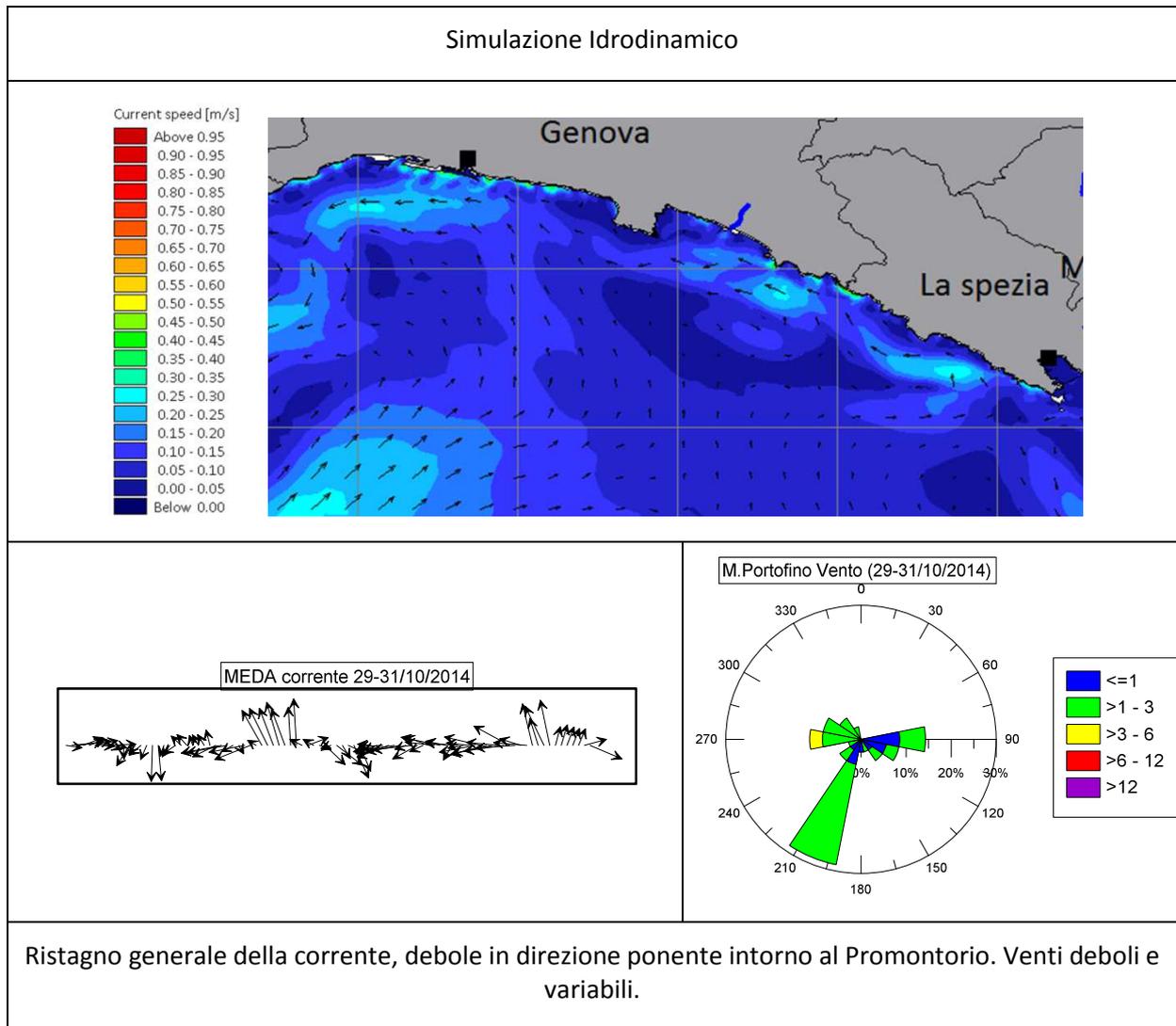


Campo di corrente debole in direzione Nord e Nord-Ovest, associata a venti dal 2° quadrante. Situazione simile a scenario 2, ma con campi meno intensi e maggiore trasporto netto verso Nord.

Simulazione Oil Spill

Arrival time	ATTUALE SUD	PROGETTO NORD
<p>Arival time [h]</p> <ul style="list-style-type: none"> Above 32.0 28.0 - 32.0 24.0 - 28.0 20.0 - 24.0 16.0 - 20.0 12.0 - 16.0 8.0 - 12.0 4.0 - 8.0 0.1 - 4.0 0.0 - 0.1 		
<p>Esame delle traiettorie: la vorticità centrata su Punta Portofino, determina una circolazione delle particelle in senso orario nel Golfo del Tigullio.</p> <p>Progetto NORD: Spiaggiamento su Portofino zona C, S. Margherita, Rapallo, Zoagli, Chiavari in tempi rapidi (< 4h).</p> <p>Attuale SUD: stazionamento al centro del Golfo per un periodo fino a 8h.</p>		

Scenario 4: Circolazione Tigullio (calma) (29-31/10/2014)

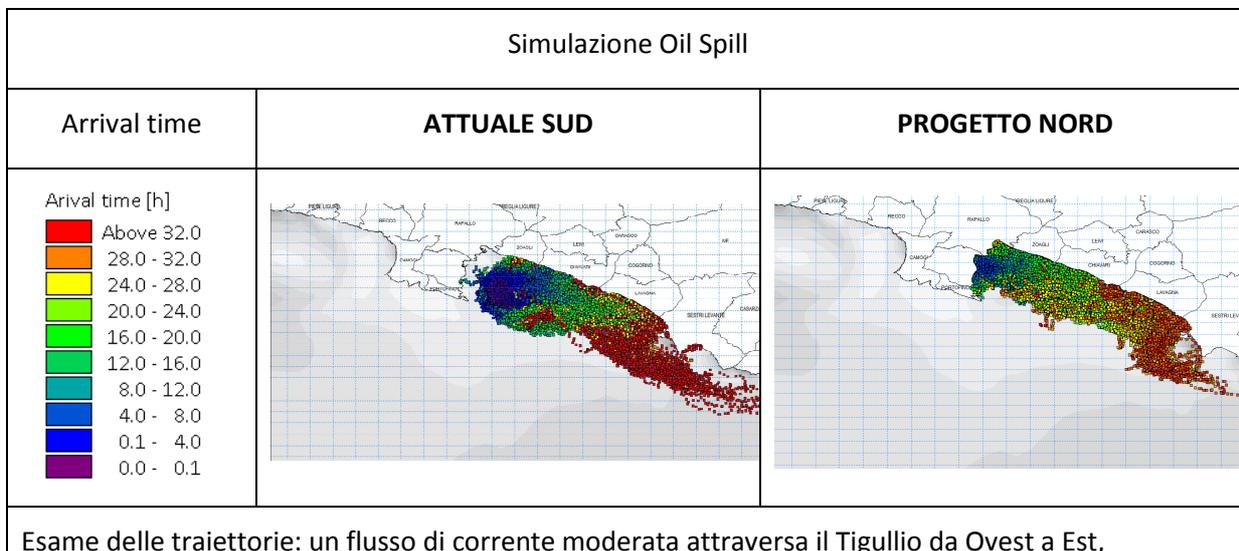
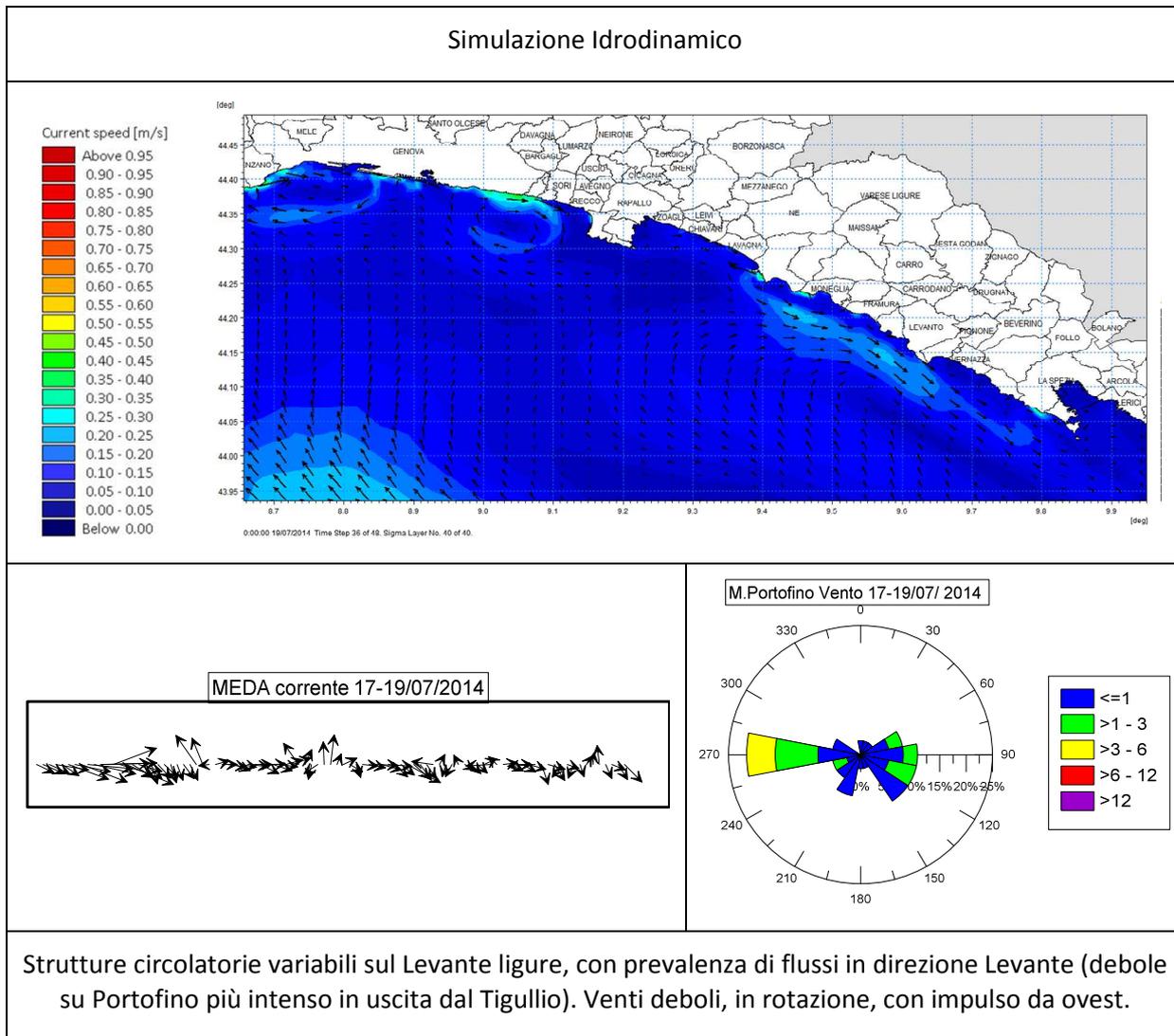


determina una circolazione delle particelle in senso orario nel Golfo del Tigullio, e fuga oltre il capo in direzione di ponente con la corrente di riflusso.

Progetto NORD: il rilascio tende a dirigersi sotto costa su Portofino zona C, S. Margherita, Rapallo, Zoagli, Chiavari, con tempi di arrivo da 4 a 12 ore.

Attuale SUD: la macchia staziona al largo per un tempo maggiore raggiungendo la costa dopo un periodo >12h, arrivando a coinvolgere anche la zona B dell'area Protetta.

Scenario 5: Circolazione Tigullio (E-NE) (17-19/07/2014)

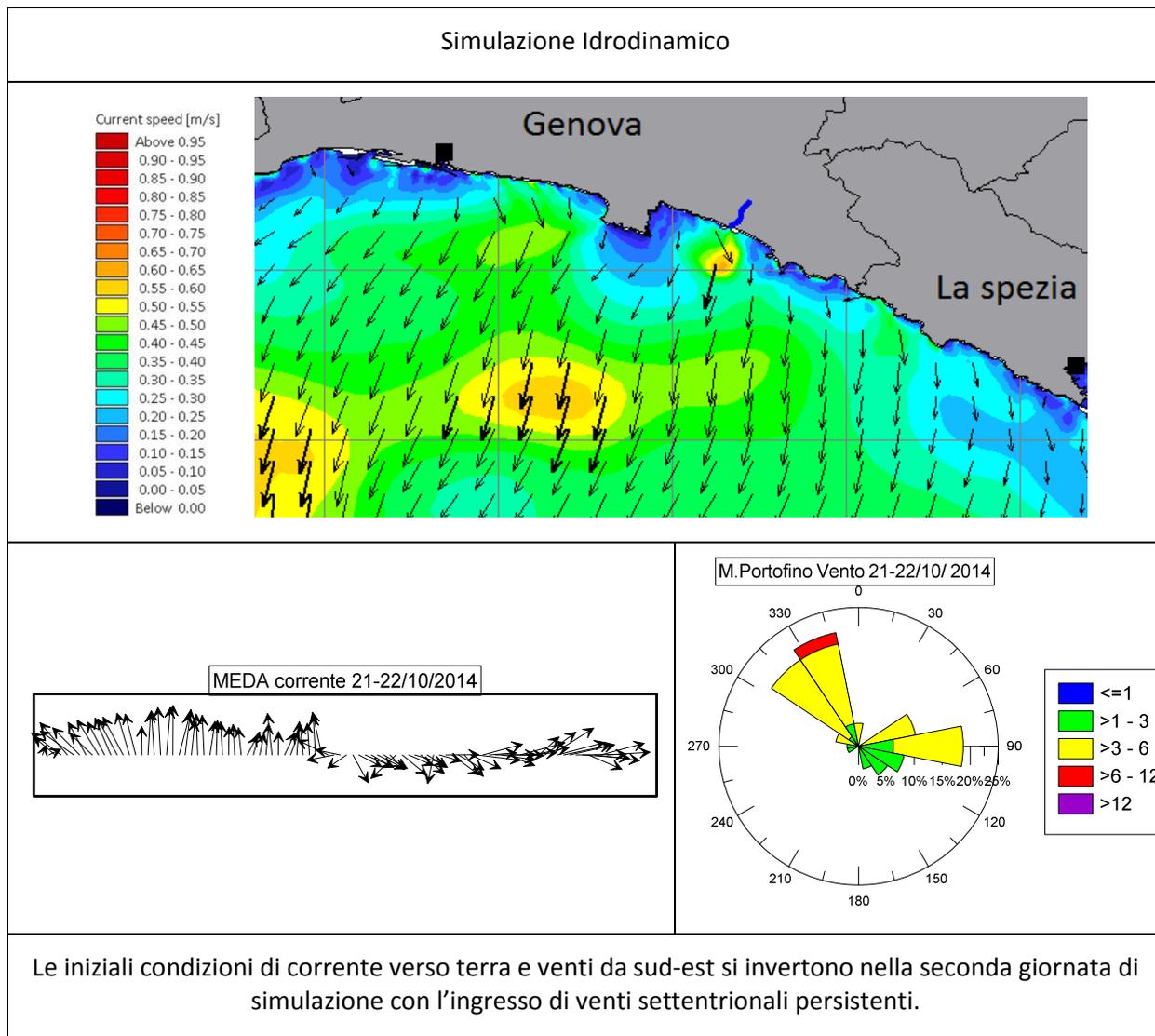


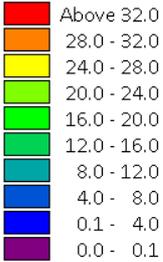
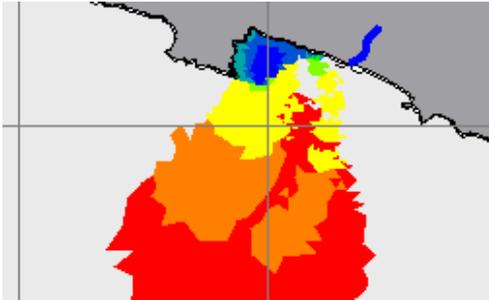
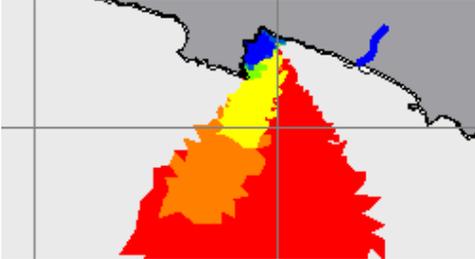
spingendo le particelle all'interno del Golfo, con spiaggiamento su tutti i comuni del litorale fino a Lavagna e Sestri Levante.

Progetto NORD: una parte del rilascio viene intrappolata dal vortice anti-orario sottoflutto alla Punta Portofino impattando ($t < 12h$) su S. Margherita e Rapallo.

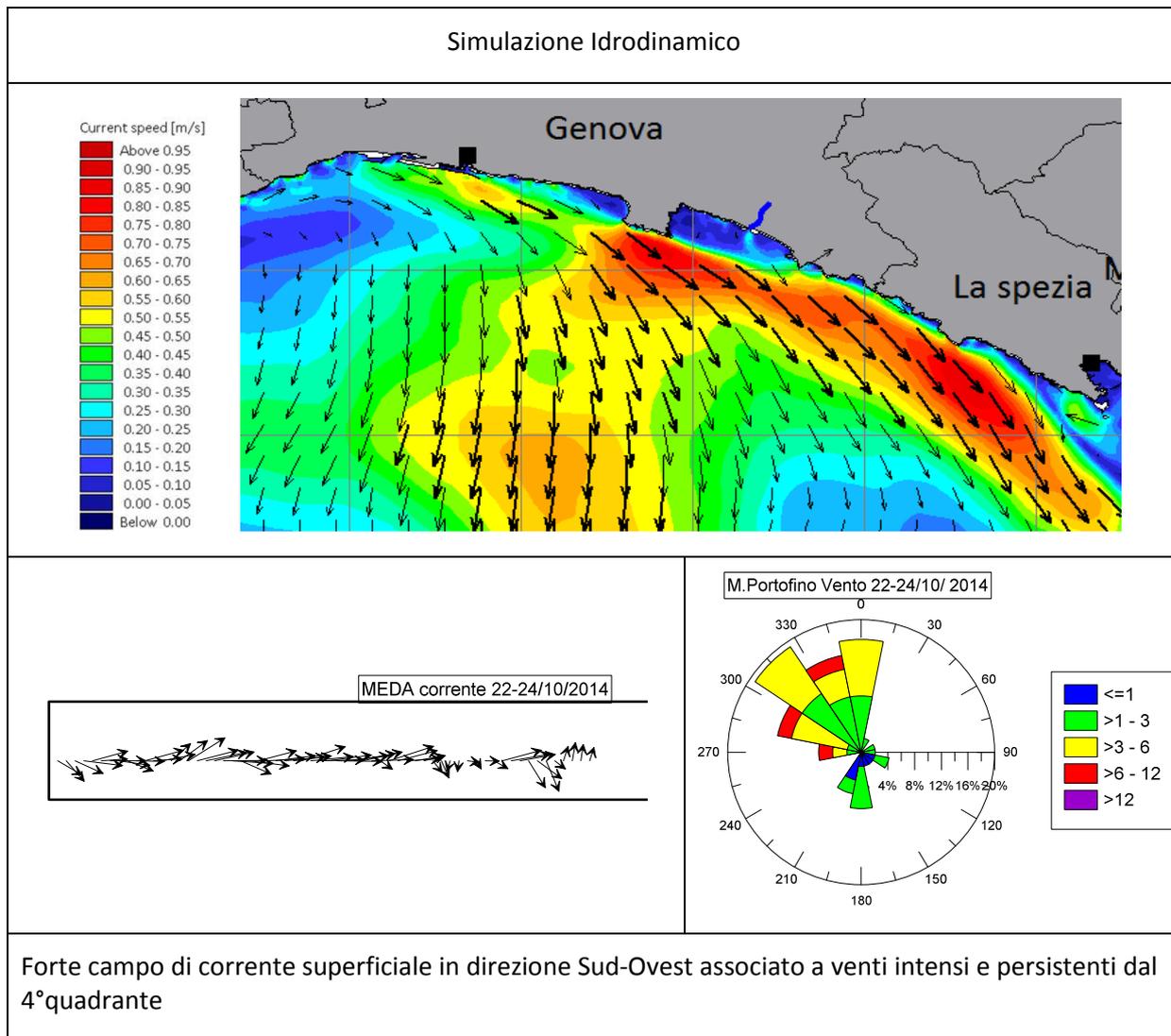
Attuale SUD: non si verifica impatto su S. Margherita e Rapallo.

Scenario 6: Trasporto a Sud (21-22/10/2014)



Simulazione Oil Spill		
Arrival time	ATTUALE SUD	PROGETTO NORD
Arival time [h] 		
<p>Esame delle traiettorie: le particelle ristagnano nel ponente del Golfo fino all' ingresso della tramontana che allontana le macchie galleggianti verso largo.</p> <p>Progetto NORD: impatto rapido (< 4h) su e S. Margherita e Rapallo.</p> <p>Attuale SUD: impatto ritardato (8h – 12 h) sulla costa del Golfo con ordine di spiaggiamento invertito (prima Zoagli e Chiavari, successivamente la costa del Promontorio).</p>		

Scenario 7: Trasporto a Sud-Est (22-24/10/2014)



verso levante, sulla spinta dei forti venti da Nord-Ovest, con ri-circolazione nelle ultime ore della simulazione.

Progetto NORD: nelle prime ore, una parte della macchia rimane comunque intrappolata nella circolazione sotto costa impattando su e Portofino zona C e S. Margherita.

Attuale SUD: il grosso della macchia viene disperso al largo per quasi tutto il periodo simulato, salvo la zona "rossa" di riflusso nelle ultime ore.

RISULTATI – OIL SPILL

Il lavoro svolto fin qui ha messo in luce la notevole complessità dell'evoluzione delle correnti litoranee attorno all'area Protetta del Monte di Portofino, dato l'instaurarsi di fenomeni complessi dovuti al contributo combinato dell'interferenza locale del Promontorio sia sulla circolazione idrodinamica dominante, sia sul campo dei venti. L'area di fonda delle navi risulta infatti localizzata proprio nel baricentro della struttura circolatoria che si instaura tra Punta Portofino e il Golfo del Tigullio.

L'accordo tra misure e modello risulta molto soddisfacente, tenendo in conto della fisiologica dispersione tra previsione e analisi: da una parte le centraline registrano dati reali e localizzati (con una forte variabilità oraria), dall'altra il modello lavora esclusivamente in modalità previsionale (per le 48 ore successive) e produce campi di moto che hanno una maggiore omogeneità spaziale e regolarità temporale.

Il correntometro conferma i campi idrodinamici previsti dal modello a sud del Promontorio nella maggior parte degli scenari, con l'eccezione di scenari 1 e 4 caratterizzati da variabilità e ristagno della circolazione. La correlazione tra dato MEDA e modello diventa stabile all'aumentare dell'intensità dei fenomeni (e quindi in presenza di correlazione vento/corrente netta e persistente) anche in occasione di rotazione decisa dei vettori (scenari 6), confermando la robustezza della catena modellistica.

Per quanto riguarda le stazioni di misura anemometrica a livello del mare, si evidenzia che il sensore posizionato sulla stessa boa MEDA ha fornito dati soltanto fino a luglio, mentre altre due stazioni utili della rete regionale (Santa Margherita e Cavi di Lavagna) hanno restituito dati parziali o influenzati dall'orografia locale, poco utilizzabili per verificare la bontà del modello. Quindi la scelta del punto di controllo è ricaduta sulla centralina del Monte di Portofino che, per la sua posizione di crinale, fornisce un'indicazione sufficientemente affidabile dei campi di vento in quota. Viceversa, poiché l'intensità del vento registrato a 600 m di quota non può essere immediatamente trasferita al livello del mare, la valutazione della frequenza climatologica degli scenari diventa più complessa. Ad esempio, le differenze di impatto tra lo scenario 2 e 3, in cui la rosa dei venti su Monte Portofino è molto simile, sono plausibilmente dovute al diverso sviluppo del campo di vento locale in un'orografia complessa come quella del Golfo.

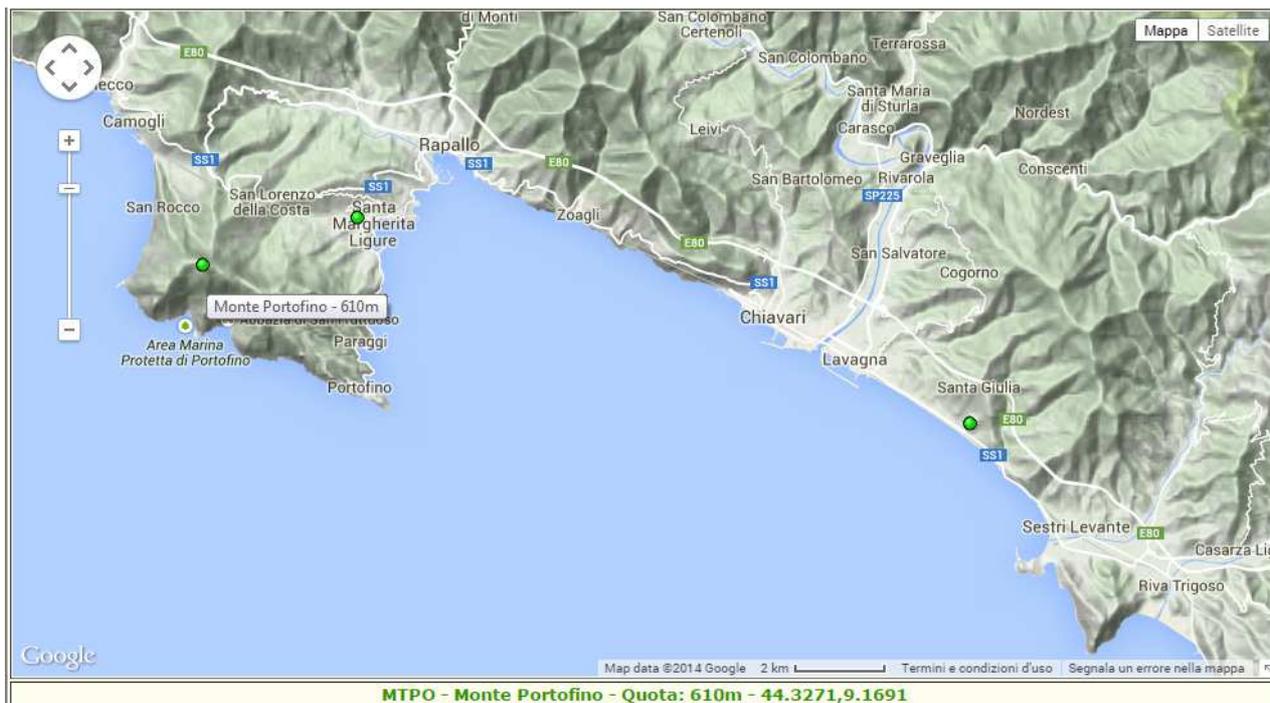
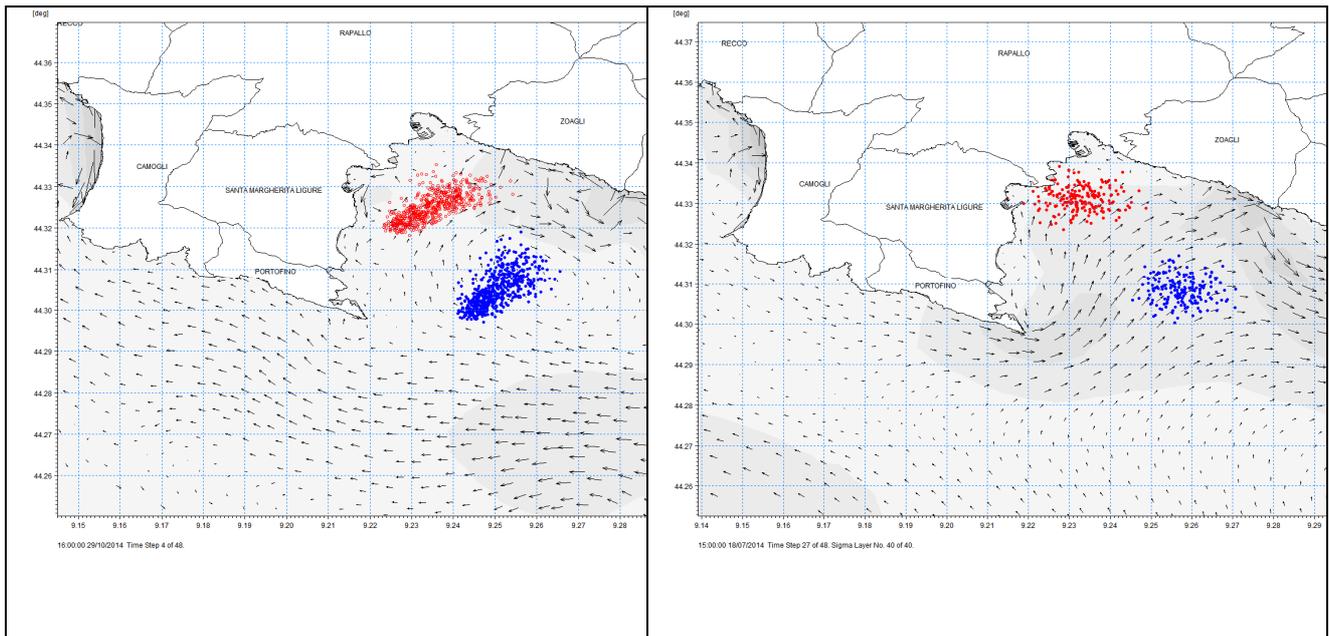


Figura 3 - Mappa dei sensori di Direzione del Vento nell'Area del Tigullio

L'interpretazione dei risultati delle simulazioni permette di trarre alcune conclusioni preliminari. Nelle seguenti elaborazioni le particelle di colore ROSSO si riferiscono al rilascio dal punto Progetto NORD, quelle di colore BLU sono relative ad Attuale SUD.

Scenari con vento debole

Negli scenari in cui è prevista dal modello un intensità di corrente debole (<0.25 m/s), le particelle rilasciate vengono intrappolate dalla struttura vorticoso innescata da Punta Portofino, con un impulso iniziale al trasporto in direzione nord. La frequenza di accadimento di queste condizioni, comuni nella stagione estiva, raggiunge il 30%, sulla base dei dati rilevati dalla boa MEDA nel periodo maggio – ottobre 2014. Queste condizioni dovrebbero di regola essere associate a campi di vento deboli e moderati. Per quanto si è potuto verificare dal confronto parziale (periodo maggio-luglio) con il sensore di vento MEDA, la frequenza delle due condizioni concomitanti su corrente ($V < 0,25$ m/s) e vento ($V < 1,5$ m/s), risulta del 15%. Come si vede dalla Figura 4, queste situazioni possono presentarsi indifferentemente sia quando la corrente di fronte al promontorio segue l'usuale direzione est-ovest (Scenari 3 e 4), sia quando si inverte in direzione opposta (Scenario 5). Il destino successivo della macchia dipende dalla posizione relativa della sorgente del rilascio rispetto al baricentro del vortice, con impatto frequente su S. Margherita e Rapallo. In queste condizioni, la posizione nord del rilascio risulta ovviamente più critica.



**Figura 4 - A sinistra previsione a +4h in scenario 4 (corrente su Portofino in direzione Est-Ovest).
A destra Previsione a +4h in scenario 5 (corrente su Portofino in direzione Ovest-Est)**

Ad ulteriore illustrazione dell'evoluzione della struttura circolatoria, si riportano i time-step 8, 16, 24, 36 ore della simulazione dello **scenario 4**, rappresentativa della circolazione oraria su Tigullio e Portofino.

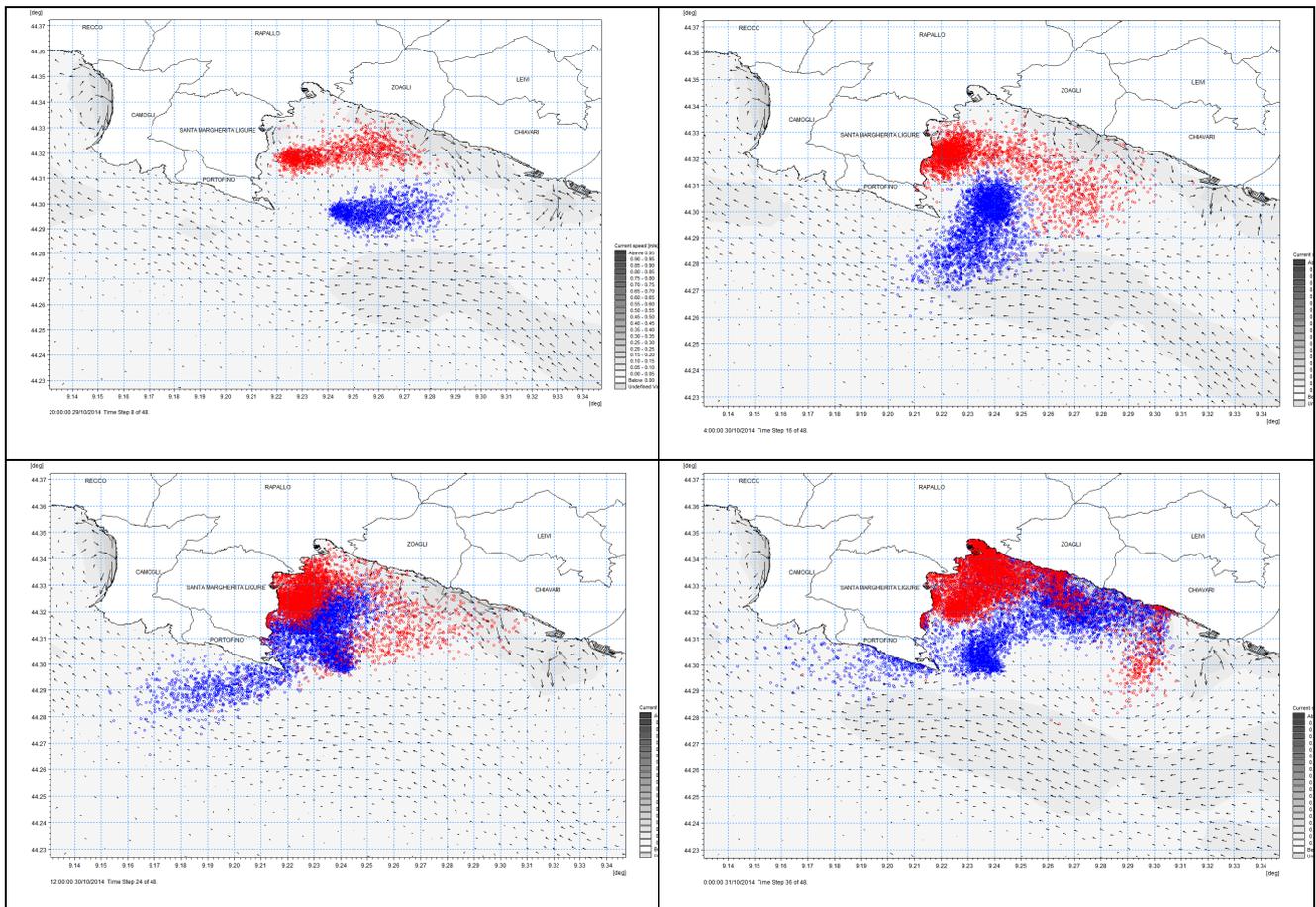
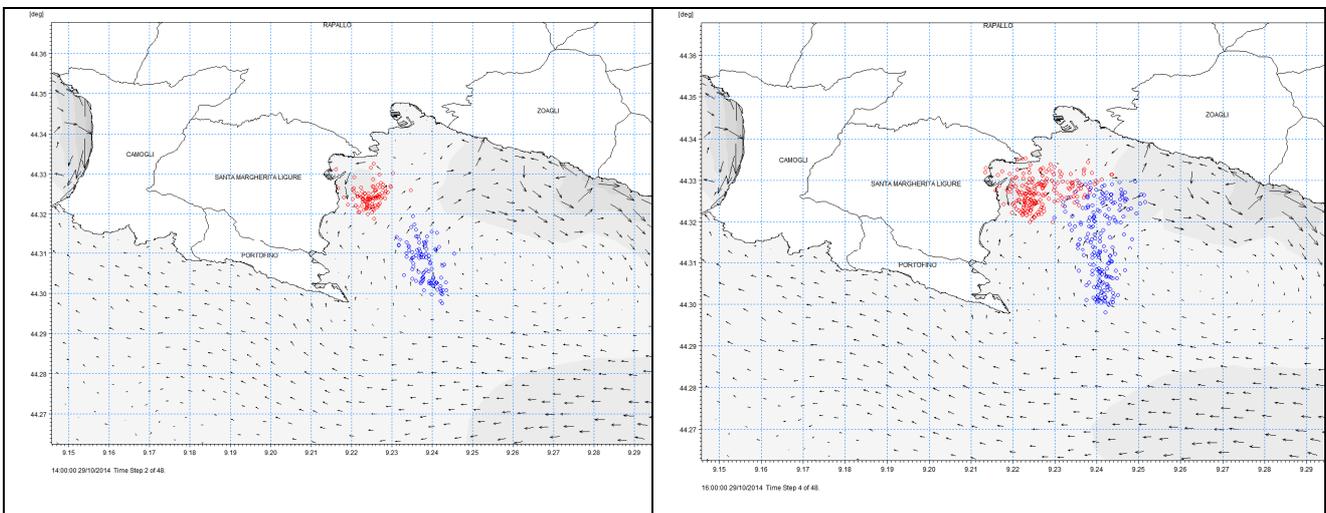


Figura 7 – Evoluzione dello Scenario 4: Time Step di previsione 8, 16, 24, 36.

Scenari con vento significativo

Gli scenari maggiormente controllati dal vento ($V > 5-6$ m/s) fanno registrare un aumento delle velocità di deriva e quindi generano un trasporto prevalente, con traiettorie e tempi di impatto più brevi. All'interno di questa casistica, i venti settentrionali, che tendono ad allontanare le macchie dall'area protetta, non rappresentano una criticità. I venti meridionali invece determinano una spinta del materiale galleggiante verso l'interno del Golfo. La scenario maggiormente critico per l'impatto sul Promontorio è rappresentato dai venti dal 2° quadrante, la cui frequenza attesa può essere stimata attorno al 25-30 %, da un confronto della serie dei dati registrati su Monte Portofino e MEDA (anche se purtroppo disomogenei nel tempo e non correlabili). Si segnala che queste condizioni di vento risultano correlate a direzioni di corrente settentrionali sul sensore MEDA.

- Come riferimento per le condizioni di scirocco è stato impostato un setup del modello con le condizioni idrodinamiche dello scenario 4 e una forzante di vento costante proveniente da Sud-Est (130° , $v = 5$ m/s). Il risultato ottenuto (Figura 8) mostra un impatto simile a quello verificatosi nello **Scenario 2**: la macchia rossa impatta su S.Margherita tra 2 e 3 ore, mentre le prime particelle blu raggiungono la linea di costa di Rapallo e Zoagli a partire da + 8 ore. La circolazione idrodinamica sottostante mantiene comunque il suo andamento orario con la fuga verso est della coda del materiale.



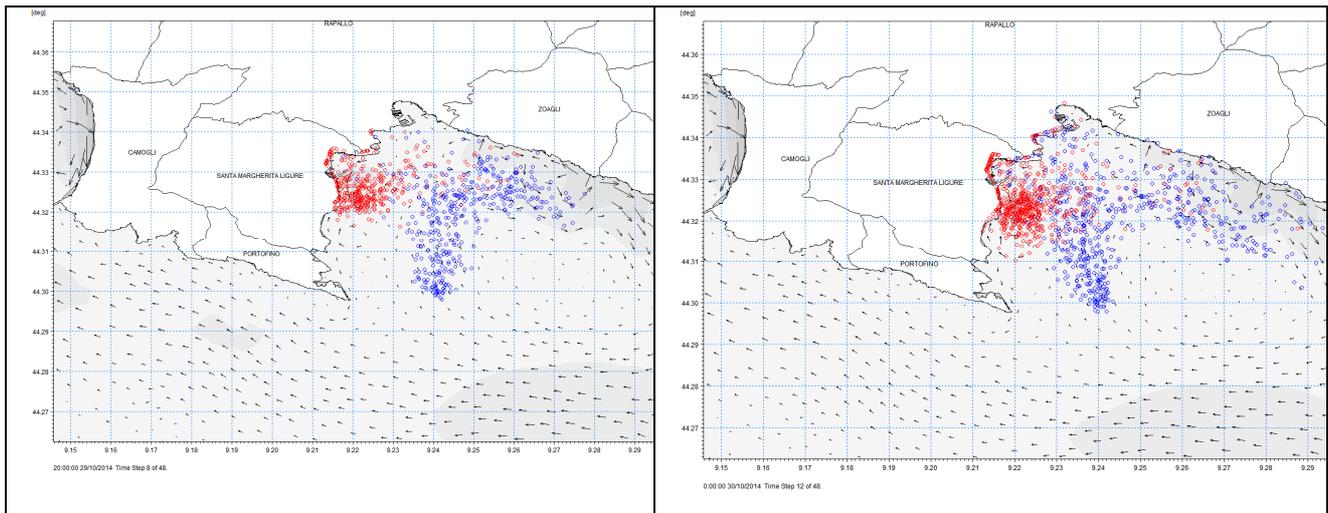


Figura 8 – Vento di scirocco. Time Step di previsione 2, 4, 8, 12.

Lo scenario più critico per l’impatto sull’Area Marina Protetta è quello in cui si genera una deriva in direzione di ponente. Allo stato attuale dello studio non è chiaro se questo impatto (verificatosi nello **Scenario 1** caratterizzato da venti deboli e ristagno di corrente) costituisca uno sviluppo della consueta struttura di circolazione ligure (da levante a ponente) alternativa allo Scenario 4, o sia dovuta ad un impulso locale di vento da Est.

A parziale verifica della seconda ipotesi, è stato impostato un setup del modello con le condizioni idrodinamiche dello scenario 4 e una forzante di vento costante proveniente dal 1° quadrante (60° , $v = 5$ m/s). La macchia rossa impatta su S. Margherita entro 2-3 ore dal rilascio, mentre la macchia blu raggiunge la costa tra le +4 h e +8 h dal rilascio, con impatto sulla zona C dell’Area Protetta e successivo sormonto della Punta di Portofino con impatto anche in zona B. In questo caso si può stimare una frequenza dei venti provenienti dal 2° quadrante compresa tra 15% e 25%, basandosi sui dati disponibili forniti dalle due centraline di controllo (Monte Portofino e MEDA).

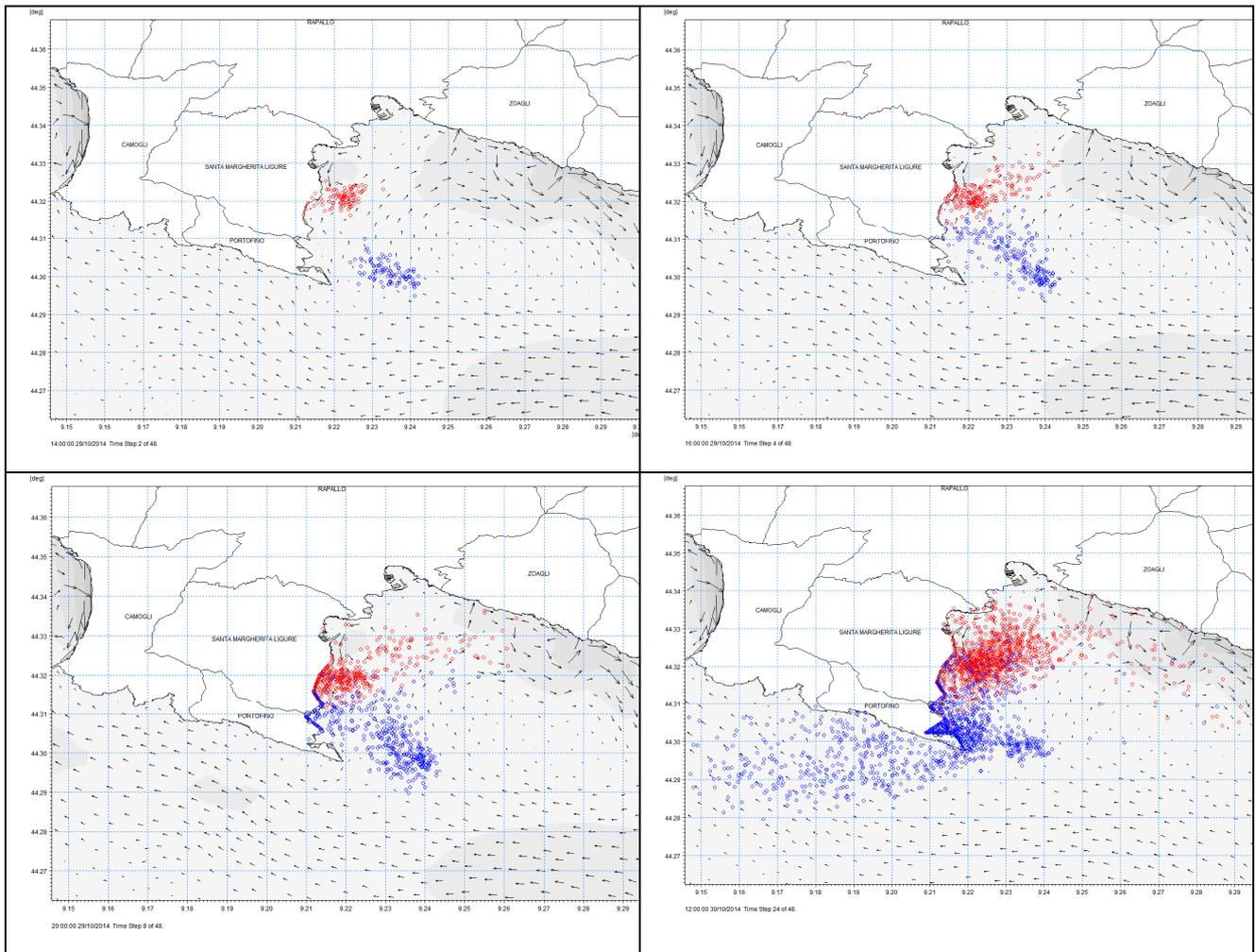


Figura 9 – Vento E-NE. Time Step di previsione 2, 4, 8, 24.

ANALISI DI RISCHIO DI INCENDIO SU NAVE IN SOSTA

Un'altra simulazione è stata condotta allo scopo di valutare le conseguenze derivanti dallo sviluppo di un incendio a bordo di una nave da crociera stazionante nell'area di fonda prospiciente Portofino, o nelle vicinanze della stessa. L'area oggetto di studio è mostrata in Figura 10, e la valutazione è stata condotta nei punti aventi le coordinate in tab.10.

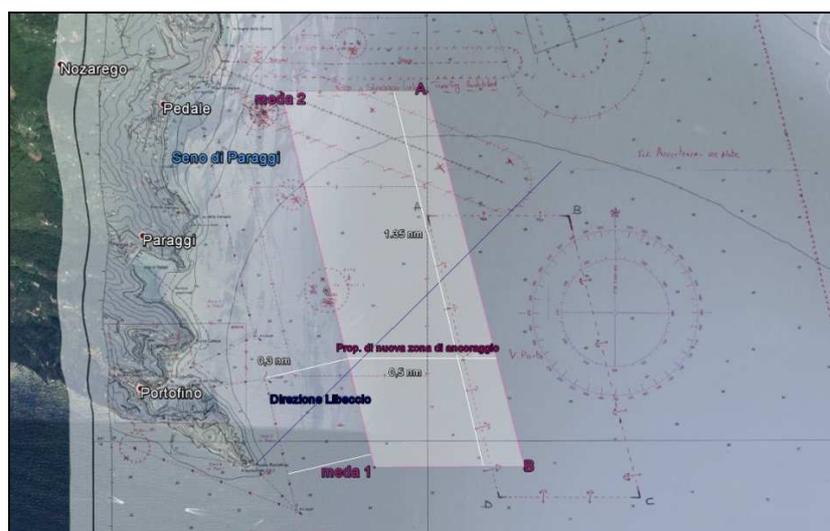


Figura 10: area di riferimento

Punto	Coordinate	
Meda2	44° 19' 13,82" N	9° 13' 16,12" E
Meda1	44° 17' 54,70" N	9° 13' 43,47" E
A	44° 19' 13,95" N	9° 13' 59,04" E
B	44° 17' 54,42" N	9° 14' 27,33" E
B (old)	44° 18' 47,90" N	9° 14' 40,49" E
C (old)	44° 17' 48,18" N	9° 15' 1,44" E

Tab.10 : coordinate dei punti

Per le simulazioni si sono usati strumenti correntemente utilizzati nella valutazione del rischio di incendio in campo industriale, ma adattabili alle condizioni di interesse del presente studio:

- EFFECTS 5.5 di TNO, per la valutazione delle zone d'impatto di un incendio;

- ALOFT-FT 3.1 (A Large Outdoor Fire-plume Trajectory) di NIST, per la propagazione dei fumi derivanti dall'incendio.

Sono stati analizzati due scenari in ogni punto:

- incendio che coinvolge solo parzialmente i serbatoi di carburante (rappresentato da una rottura del serbatoio di 5-10 cm);
- incendio conseguente a una rottura catastrofica dei serbatoi.

Per ognuno degli scenari è stata valutata anche la propagazione dei fumi di combustione conseguenti all'incendio.

Nelle simulazioni si è preso in considerazione un carburante con le seguenti caratteristiche:

FUEL OIL (DIESEL)
Flash Point: 125 ° F (NTP, 1992)
Lower Explosive Limit (LEL): 1.3 % (NTP, 1992)
Upper Explosive Limit (UEL): 6 % (NTP, 1992)
Auto-ignition Temperature: 350 to 625 ° F (USCG, 1999)
Melting Point: 0 ° F (NTP, 1992)
Vapor Pressure: 2.17 mm Hg at 70.0 ° F (USCG, 1999)
Specific Gravity: 0.841 at 60.8 ° F (USCG, 1999)
Boiling Point: 540 to 640 ° F at 760.0 mm Hg (NTP, 1992)
Water Solubility: less than 1 mg/mL at 66° F (NTP, 1992)

Tab.11: Caratteristiche del carburante

Per la valutazione delle probabilità di accadimento degli scenari, ci si è basati su dati di letteratura, utilizzando due riferimenti normalmente usati per l'analisi di rischio industriale, quali **Lees: Loss Prevention in the Process Industries e The Rijnmond Report**; la metodologia seguita è quella standard dell'analisi di rischio.

In genere, qualsiasi analisi del rischio si compone di tre fasi principali:

1. identificazione dei pericoli;
2. valutazione della probabilità di accadimento;
3. stima degli effetti.

Il parametro decisionale è il **rischio**, visto come combinazione di probabilità di accadimento e conseguenze associate¹. I passi da effettuare per intraprendere questa analisi sono:

- identificazione degli eventi incidentali;
- valutazione della frequenza attesa di accadimento;
- valutazione delle conseguenze associate;
- identificazione criteri di accettabilità.

Per l'identificazione degli eventi, si è valutato il caso di un incendio a bordo, originato in prossimità dei serbatoi; per quanto riguarda la frequenza attesa si è fatto riferimento a dati di letteratura, come sopra riportato, mentre per la valutazione delle conseguenze sono stati utilizzati i software sopra citati, ampiamente utilizzati nelle analisi di rischio.

Per l'identificazione dei criteri di accettabilità, si è presa a riferimento la matrice ALARP (acronimo di *As Low As Reasonably Practicable*), che stabilisce, sulla base della definizione classica di rischio, delle zone di accettabilità.

		Severity				
		Very Low 1	Low 2	Medium 3	High 4	Very High 5
Probability	Very High 5	5	10	15	20	25
	High 4	4	8	12	16	20
	Medium 3	3	6	9	12	15
	Low 2	2	4	6	8	10
	Very Low 1	1	2	3	4	5

Figura 11: matrice ALARP

Dalla quale si desume il "limite di accettabilità", che corrisponde ad una probabilità di accadimento dell'ordine di grandezza di 10^{-6} (una occorrenza ogni 1.000.000 anni).

¹ Storicamente il rischio veniva valutato come prodotto tra la frequenza di accadimento e la magnitudine (espressa come perdite economiche, o di vite umane): $R=F \times M$. Ultimamente l'affinarsi delle tecniche di analisi ha permesso di introdurre altri parametri, non in forma di corrispondenza diretta, quali la possibile presenza umana nelle aree colpite dagli effetti di un incidente, e la probabilità che in quelle zone si verifichi un accumulo di sostanze tossiche oltre i valori assorbibili dall'organismo umano.

RISULTATI DELL'ANALISI DI RISCHIO

Scenario 1: incendio conseguente ad una rottura del serbatoio di 5-10 cm

Portata massima di rilascio: 305 kg/min

Quantità totale rilasciata: 12.654 kg

Diametro della pozza: 55 m.

Modello: Area di infiammabilità

Estensione sottovento della zona nella quale si raggiunge il limite di infiammabilità (12.000 ppm): 20 m

Estensione sottovento della zona nella quale si raggiunge il 60% del limite di infiammabilità (7.200 ppm): 34 m

Estensione sottovento della zona nella quale si raggiunge il 10% del limite di infiammabilità (1.200 ppm): 86 m.

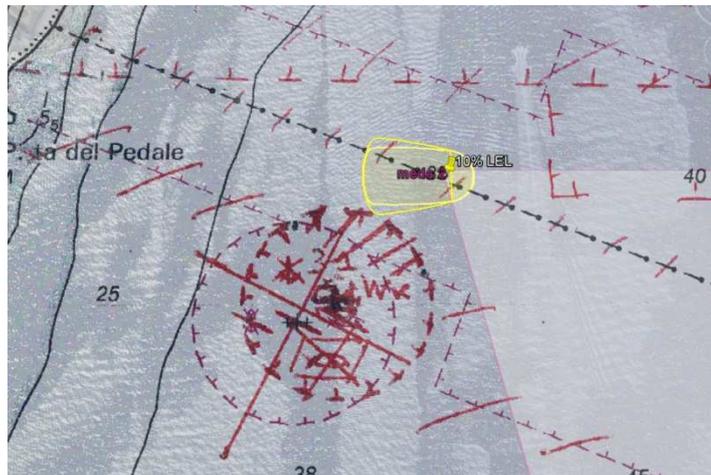


Figura 12: estensione dell'area più vasta (10%LEL) – vento da est – nel punto più prossimo alla costa (meda2)

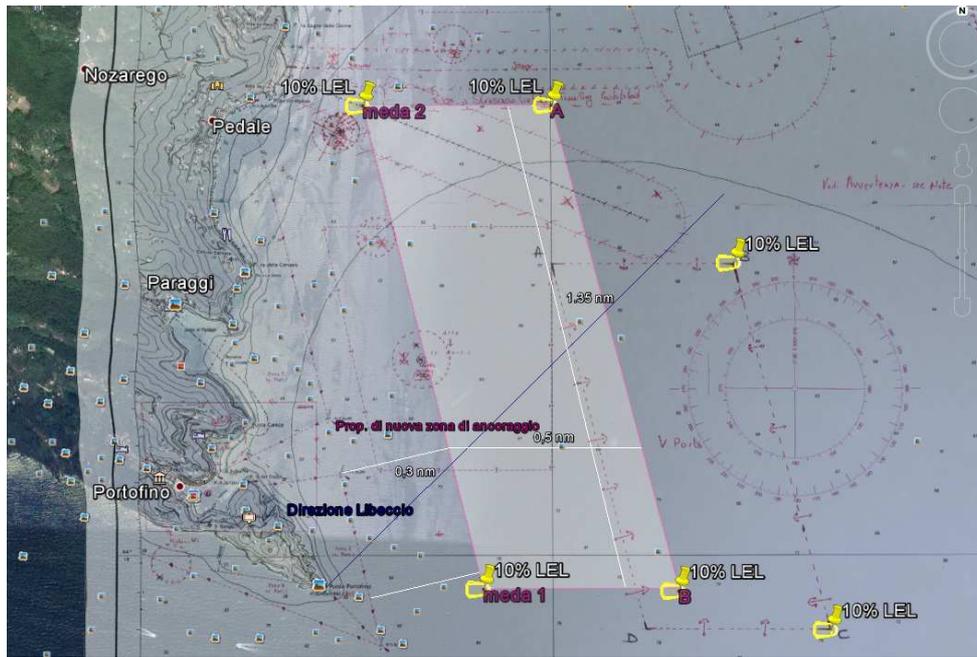


Figura 13: curve di isoconcentrazione (10%LEL) – vento da est – in tutti i punti analizzati

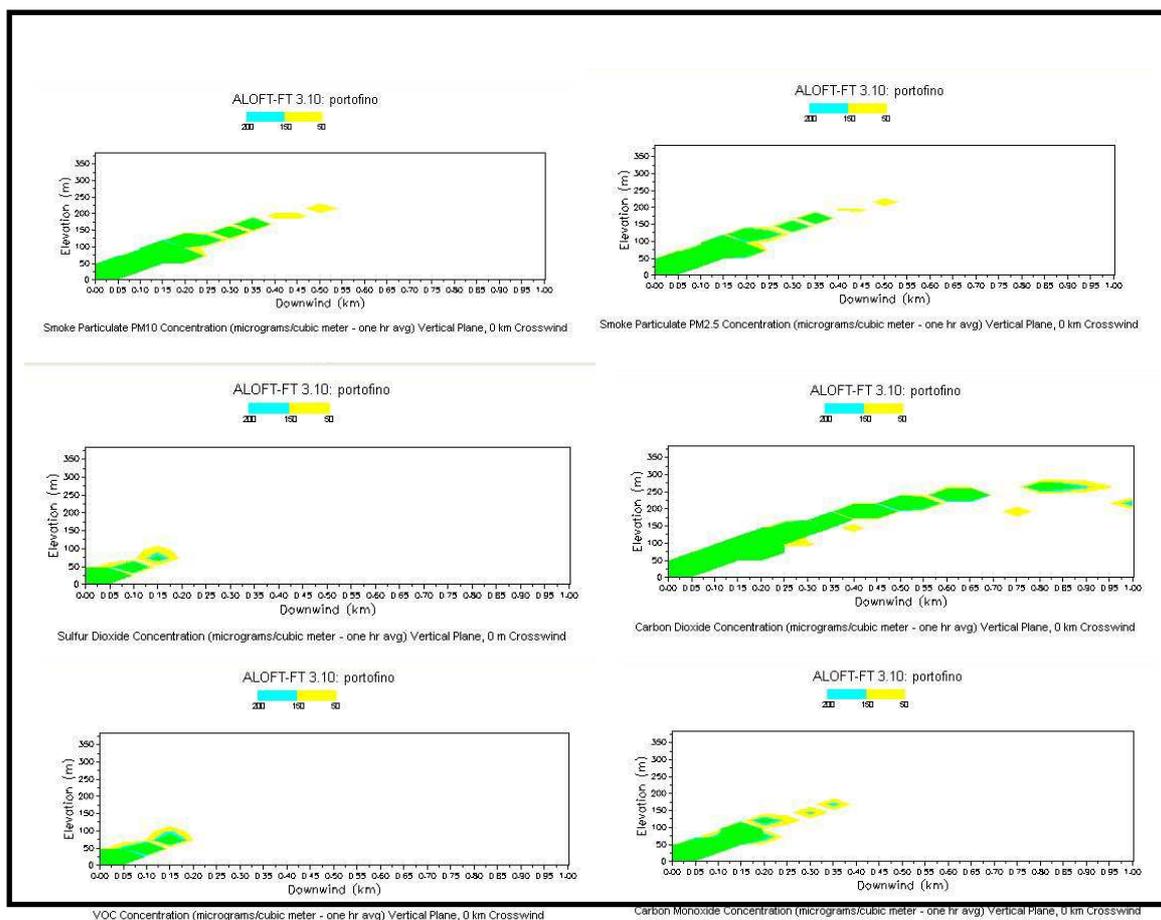


Figura 14: propagazione dei principali prodotti nei fumi di combustione derivanti dall'incendio

Scenario 2: incendio conseguente ad una rottura catastrofica del serbatoio

Portata massima di rilascio: 4.000 kg/min

Quantità totale rilasciata: 231.210 kg

Diametro della pozza: 200 m.

Modello: Area di infiammabilità

Estensione sottovento della zona nella quale si raggiunge il limite di infiammabilità (12.000 ppm): MAI RAGGIUNTO

Estensione sottovento della zona nella quale si raggiunge il 60% del limite di infiammabilità (7.200 ppm): 100 m

Estensione sottovento della zona nella quale si raggiunge il 10% del limite di infiammabilità (1.200 ppm): 477 m.

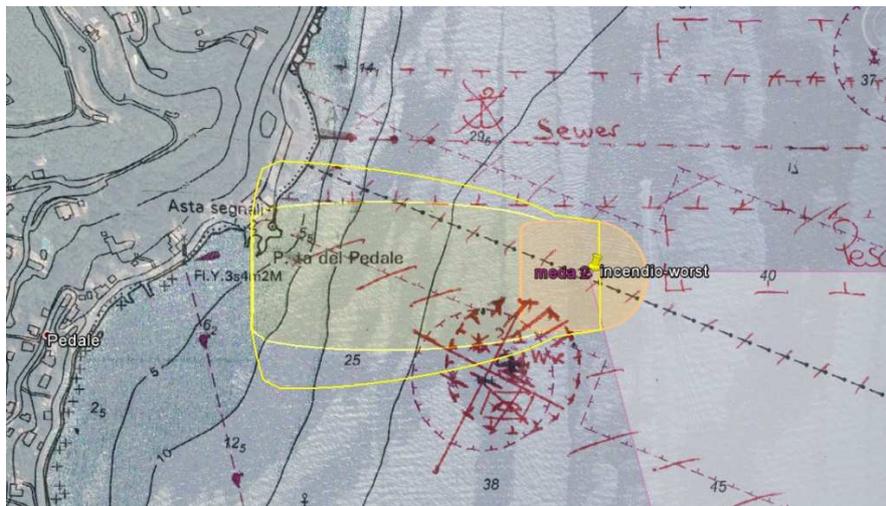


Figura 15: curve di isoconcentrazione (10%LEL) – vento da est – nel punto più prossimo alla costa (meda2)

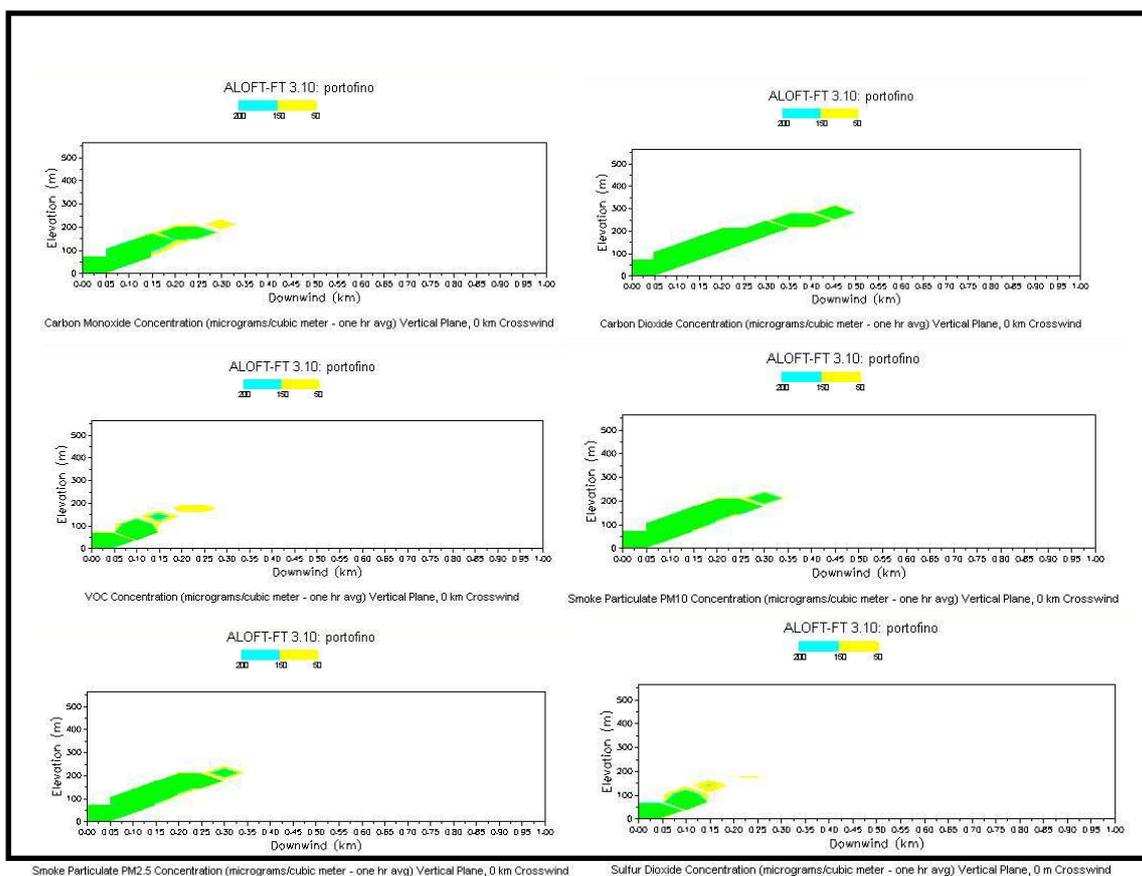


Figura 16: propagazione dei principali prodotti nei fumi di combustione derivanti dall'incendio

Le probabilità di accadimento dei due scenari sono:

- 10^{-6} per lo scenario corrispondente all'incendio derivante da una rottura del serbatoio di 5-10 cm (corrispondente ad una probabilità di accadimento pari a una occorrenza ogni 1.000.000 anni);
- 10^{-9} per lo scenario corrispondente all'incendio derivante da una rottura del serbatoio di 5-10 cm (corrispondente ad una probabilità di accadimento pari a una occorrenza ogni 1.000.000.000 anni);

Entrambe le probabilità sono all'interno del campo di accettabilità.

L'unico scenario che arriva ad impattare la costa è lo scenario di rottura catastrofica del serbatoio nel punto denominato **Meda2**, che comunque ha una probabilità di accadimento MOLTO BASSA (improbabile nel corso della vita media di una nave). Tutti gli altri scenari non interessano la costa.

L'analisi della propagazione dei fumi di combustione derivanti dall'incendio è stata condotta sui seguenti prodotti di combustione:

- PM10;
- PM2,5;
- CO;
- CO₂;
- SO₂;
- VOC.

In questo caso, il primo scenario presenta una maggiore propagazione dei prodotti di combustione (in quanto, essendo minore la portata di rilascio, dura più a lungo), ma le concentrazioni sono comunque basse già in origine.

La maggiore distanza dei fumi di combustione (nell'ipotesi peggiore: vento da EST di 5 m/s), è raggiunta dal CO₂, che arriva ad una distanza di circa 1Km, e ad una altezza di 250 m.

Si conclude che l'unico punto di ormeggio nel quale un incidente di questo tipo potrebbe causare problemi (per l'incendio stesso, nel caso peggiore, e comunque per i fumi di combustione), è quello denominato **Meda2**. Va tuttavia sottolineata la probabilità di accadimento molto bassa, che rende l'evento improbabile durante la vita media di una nave.

VALUTAZIONE DELLA DISPERSIONE IN ATMOSFERA DURANTE LO STAZIONAMENTO

La dispersione atmosferica dei gas di combustione, durante la normale attività del motore della nave in ancoraggio, è stata valutata in uno scenario a lungo termine (da maggio a ottobre), con il software ADMS 5 (CERC).

La dispersione è stata valutata nel punto più prossimo alla costa (Meda2), utilizzando la statistica dei venti del monte di Portofino per il periodo considerato, come input al pre-processore meteorologico Flow Star, per determinare il campo di vento 3D.

C:\Users\tomaso.vairo\ADMS\Portofino - Crociere\crociere-1-LT.Wit
Vector plot: Horizontal mean flow, at height 2m

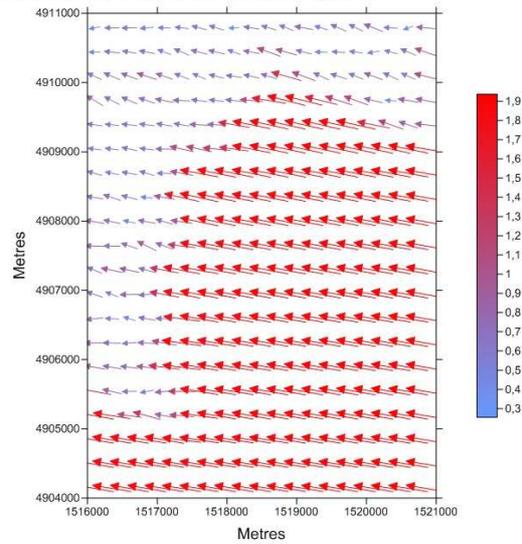


Figura 17: Campo di vento

Il dominio di calcolo, e la griglia di recettori, sono riportati di seguito.

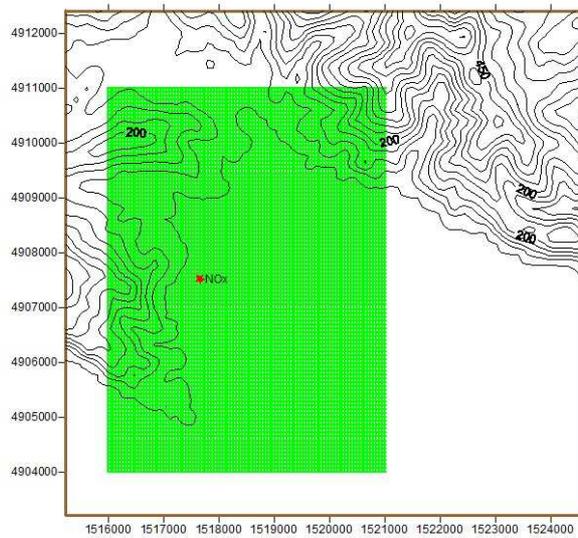


Figura 18: Dominio di calcolo

Questo il risultato della simulazione condotta per il periodo considerato (maggio – ottobre). Gli inquinanti di riferimento, per la valutazione delle emissioni, sono gli ossidi di azoto (NOx).

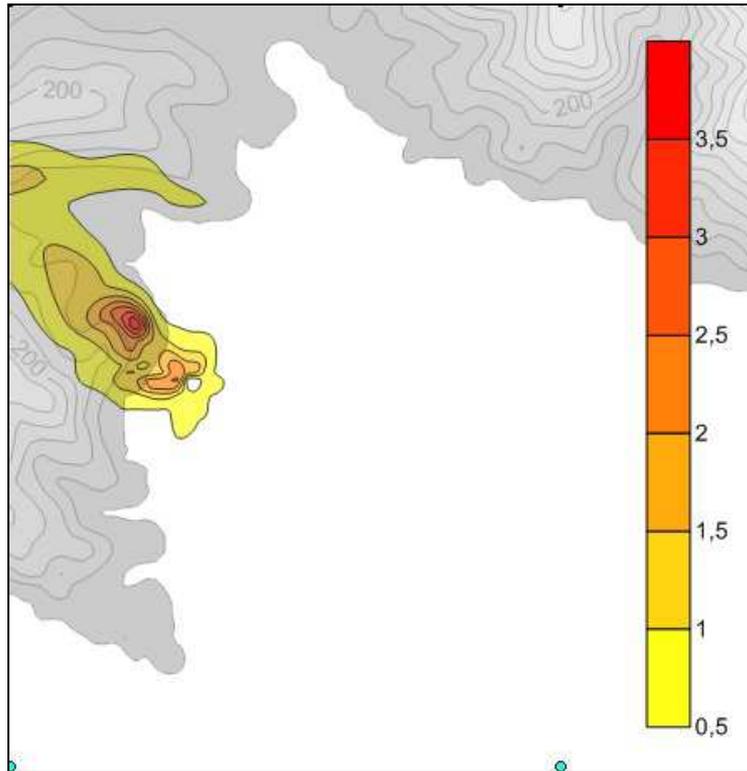


Figura 19: Mappa delle ricadute di NOx durante lo stazionamento delle navi nel punto Meda2 – periodo: maggio – ottobre. Media oraria

La valutazione delle ricadute dei fumi di combustione (media oraria, periodo maggio – ottobre), mostra una concentrazione di NOx (scelto come inquinante di riferimento) sempre inferiore a $3,5 \mu\text{g}\text{m}^3$ a fronte di un limite di $200 \mu\text{g}\text{m}^3$ come media oraria e $40 \mu\text{g}\text{m}^3$ come media annuale (D. Lgs 155/2010).