

**PROGETTO DEFINITIVO PER LA RIQUALIFICAZIONE, LA VALORIZZAZIONE E  
LA GESTIONE DEL PORTO TURISTICO DI VILLANOVA DI OSTUNI (BR)**

---

**STIMA DELLA DIFFUSIONE IN MARE DEI SEDIMENTI**

RISCONTRO AL PUNTO 6 DELLE INTERGAZIONI RICHIESTE CON NOTA  
PROT. 20404/DVA DEL 02.08.2019 DEL MINISTERO DELL'AMBIENTE E  
DELLA TUTELA DEL TERRITORIO E DEL MARE

# INDICE

- 1. PREMESSA**
- 2. ATTIVITA' DI DRAGAGGIO**
- 3. SIC "TORRE GUACETO E MACCHIA SAN GIOVANNI"**
- 4. IPOTESI DI STUDIO**
  - 4.1 CARATTERISTICHE E QUANTITÀ DEI SEDIMENTI MESSI IN SOSPENSIONE
  - 4.2 STUDIO DEL VENTO E DELLE ONDE
  - 4.3 STUDIO DELLE CORRENTI
- 5. MODELLO DI CALCOLO E SIMULAZIONE DEL CAMPO FLUIDO**
  - 5.1 GEOMETRIA E DOMINIO FLUIDO
  - 5.2 REALIZZAZIONE DELLE MESH
  - 5.3 METODO NUMERICO
  - 5.4 CONDIZIONI AL CONTORNO
  - 5.5 DISCRETIZZAZIONE NEL TEMPO
  - 5.6 MODELLO DI TURBOLENZA
  - 5.7 SIMULAZIONI E RISULTATI DEL CAMPO DI MOTO DEL FLUIDO (ASSENZA DI PARTICELLE)
- 6. MODELLO DI TRASPORTO DI PARTICELLE INERTI**
  - 6.1 MODELLO DI CALCOLO DELLE TRAIETTORIE
  - 6.2 DATI DI INGRESSO
- 7. RISULTATI DELLE SIMULAZIONI CON MESH RADA**
- 8. CONCLUSIONI**

## 1. PREMESSA

La presente relazione è stata redatta in risposta alla nota prot. 20404/DVA del 02.08.2019 del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare in merito alla verifica di assoggettabilità a VIA del progetto preliminare per la riqualificazione e la gestione del Porto turistico di Villanova di Ostuni.

Nello specifico, la presente relazione risponde al punto n.6 delle integrazioni richieste con la suddetta nota e di seguito riportato:

*Approfondire le modalità di prelievo e trasporto del materiale dragato, specificando le componenti ambientali coinvolte e utilizzando un modello di simulazione per la stima della diffusione in mare dei sedimenti e dell'aumento della torbidità, in particolare in relazione all'adiacente posidonieto.*

## 2. ATTIVITA' DI DRAGAGGIO

Nel progetto definitivo per la *“Riqualificazione, la valorizzazione e la gestione del porto turistico di Villanova di Ostuni (Brindisi)”* si prevede di ripristinare l'efficienza del bacino portuale in termini di navigabilità attraverso l'asportazione dei sedimenti che, nel tempo, hanno cambiato sensibilmente la batimetria del bacino, con grave pregiudizio in termini di funzionalità degli ormeggi e di sicurezza della navigazione.

L'area totale da dragare interessa una superficie di 37.787 mq, per un volume totale di 69.608 mc (comprensivo di un volume di overdredging pari al 10% del volume di dragaggio) costituito essenzialmente da materiale sciolto.

A seguito di quanto emerso dalle indagini di carattere analitico relative alla caratterizzazione dei fondali dello specchio acqueo portuale, i sedimenti presenti, in base alla classificazione di qualità prevista dal D.M. n. 173/2016, ricadono nelle classi di qualità A e B.

In funzione di tali classi di qualità dei materiali presenti, secondo le indicazioni fornite dallo stesso D.M., è stata individuata come unica opzione di gestione dei sedimenti, quella dell'immersione deliberata in aree marine non costiere (oltre le tre miglia nautiche dalla costa) con monitoraggio ambientale.

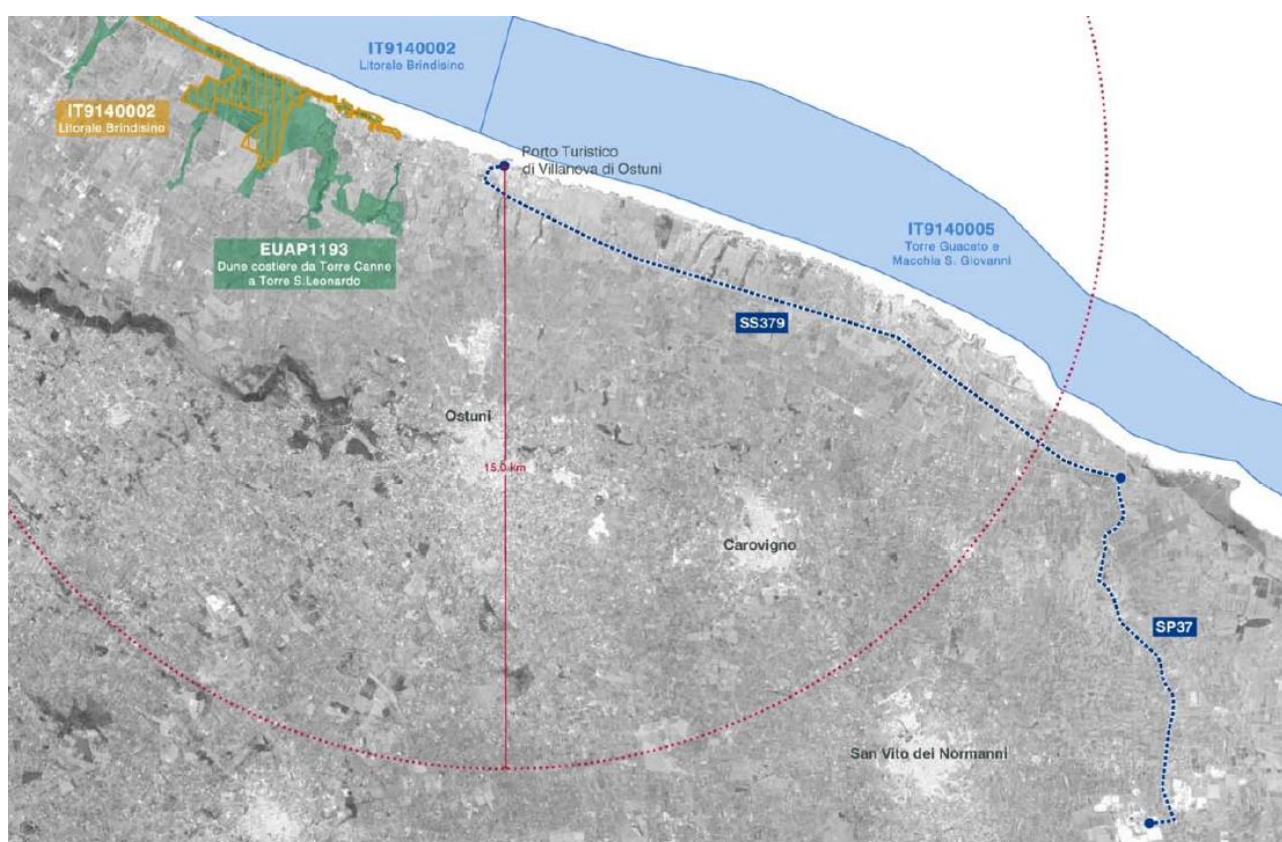
Durante l'esecuzione delle attività di prelievo e di trasporto del materiale dragato, oltre al monitoraggio continuo, che verrà effettuato in conformità a quanto previsto dal D.M. 173/2016, per ridurre gli effetti sulle componenti ambientali coinvolte, soprattutto in relazione all'adiacente posidonieto del SIC IT 9140005 Torre Guaceto, verranno adottate opportune misure di mitigazione, quali:

- **l'impiego di panne galleggianti anti-torbidità**, disposte a chiusura dell'imboccatura, durante tutte le lavorazioni previste all'interno del bacino portuale, per garantire un preventivo confinamento dell'area di cantiere in modo tale da impedire la diffusione delle particelle di materiale dragato eventualmente passato in sospensione e creare un volume d'acqua isolato dall'esterno;
- **l'utilizzo di una draga di tipo CSD** (Cutter Suction Dredger), ovvero una draga aspirante, auto-caricante e auto-refluente, dotata di tramoggia a tenuta stagna, che consente di ridurre notevolmente la diffusione dei sedimenti durante le attività di dragaggio, limitando così il fenomeno della torbidità delle acque all'interno del bacino portuale, e di prevenire, inoltre, la perdita accidentale di materiale dragato lungo la rotta e quindi la dispersione di sostanze dannose all'esterno del porto.

### 3. SIC “TORRE GUACETO E MACCHIA SAN GIOVANNI”

Nel tratto di fondale antistante il porto turistico, a circa 300 m da questo, tra le batimetriche - 8 m s.l.m.m. (margine superiore) e - 30 m s.l.m.m. (margine inferiore), si sviluppa una prateria di Posidonia oceanica, in buono stato di conservazione.

Nell’ambito del programma comunitario “Natura 2000” e del relativo programma italiano “Bioitaly”, la Regione Puglia, ai sensi della Dir. 92/43 CEE “Habitat”, ha inquadrato questa zona come Sito d’Importanza Comunitaria denominandolo “Torre Guaceto e Macchia San Giovanni” (SIC IT 9140005).



**FIGURA 1** UBICAZIONE DEL SIC “TORRE GUACETO E MACCHIA S. GIOVANNI” IT 9140005 RISPETTO AL PORTO TURISTICO DI VILLANOVA

La riserva naturale statale di Torre Guaceto è ubicata a 18 km a nord di Brindisi e a 16 km a sud di Villanova di Ostuni. Essa costituisce un’importante area di interesse naturalistico che si estende su circa 1.110 ha e comprende un tratto di costa adriatica lungo 8,4 km e la riserva marina antistante. Rientrano nella riserva anche le cinque isolette disposte parallelamente alla riva.

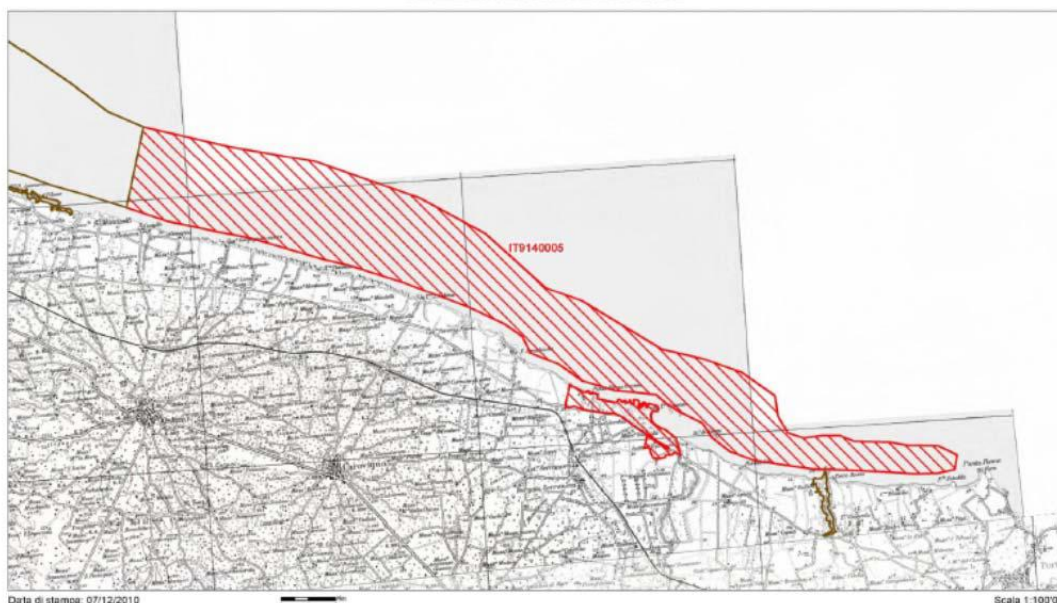
Unica nell’Italia continentale ad includere una parte terrestre e una marina, la riserva è nata alla fine degli anni settanta ed è in gestione ad un consorzio a cui partecipano il WWF Italia ed i comuni di Brindisi e Carovigno. La riserva prende il nome dalla torre costiera d’avvistamento risalente al 1531, oggi sede del Centro di Educazione Ambientale del WWF.

Si riporta qui di seguito una scheda riassuntiva del SIC (*Figure 2 e 3*).

**PROGETTO DEFINITIVO PER LA RIQUALIFICAZIONE, LA VALORIZZAZIONE E LA GESTIONE DEL PORTO TURISTICO DI VILLANOVA DI OSTUNI (BR)  
STIMA DELLA DIFFUSIONE IN MARE DEI SEDIMENTI**



Regione: Puglia      Codice sito: IT9140005      Superficie (ha): 7978  
Denominazione: Torre Guaceto e Macchia S. Giovanni



Data di stampa: 07/12/2010

Scala 1:100'000



**Legenda**  
  sito IT9140005  
  altri siti  
 Base cartografica: IGM 1:100'000

**FIGURA 2** PERIMETRAZIONE “TERRA-MARE” DEL SIC “TORRE GUACETO E MACCHIA S. GIOVANNI” IT 9140005

Nome sito	Codice sito	Longitudine	Latitudine	Area (ha)	Area marina (%)
<b>Torre Guaceto e Macchia San Giovanni</b>	IT9140005	17.758056	40.743611	7978	95

**Caratteristiche del sito**

Area di grande interesse paesaggistico con profilo costiero ricco di insenature. Il substrato roccioso è di tipo calcarenitico. L'area è di grande interesse archeologico.

**Importanza e Qualità**

Zona umida di interesse internazionale. Presenza di esemplari arborei nella Macchia di S. Giovanni di Lentisco e fillirea . Duna e macchia retrodunale di elevato valore paesaggistico e vegetazionale.

**Informazioni Ecologiche**

In Tabella si riportano i codici degli habitat presenti nel SIC con il tipo di Habitat ad esso associato. Per una descrizione dettagliata degli habitat si rimanda all'appendice 1.

Codice	Tipo di Habitat
<b>1120</b>	Praterie di Posidonia (Posidonionoceanicae)
<b>1210</b>	Vegetazione annua delle linee di deposito marine
<b>1240</b>	Scogliere con vegetazione delle coste mediterranee con Limonium spp. endemici

1410	Pascoli inondatai mediterranei (Juncetalia maritimi)
1420	Praterie e fruticeti alofili mediterranei e termo-atlantici (Sarcocornietea fruticosi)
2110	Dune embrionali mobili
2120	Dune mobili del cordone litorale con presenza di <i>Ammophila arenaria</i> (dune bianche)
2210	Dune fisse del litorale (Crucianellion maritimae)
2230	Dune con prati dei Malcolmietaia
2240	Dune con prati dei Brachypodietalia e vegetazione annua
2250	Dune costiere con <i>Juniperus</i> spp.
2260	Dune con vegetazione di sclerofille dei Cisto-Lavanduletalia
6420	Praterie umide mediterranee con piante erbacee
92D0	Gallerie e forteti ripari meridionali (Nerio-Tamaricetea e Securinegion tinctoriae)
9340	Foreste di <i>Quercus ilex</i> e <i>Quercus rotundifolia</i>

**FIGURA 3** SCHEDA RIASSUNTIVA DEL SIC "TORRE GUACETO E MACCHIA S. GIOVANNI" IT 9140005

All'interno del SIC IT 9140005, l'habitat "Praterie di Posidonia" occupa il 50% del suo territorio. La prateria di tale SIC si estende per oltre 60 km nel tratto di Mar Adriatico pugliese che va da Monopoli (BA) fino a Punta Patedda (BR). Nella parte più meridionale, da Punta Patedda sino agli Scogli di Apani, la prateria risulta frammentata in macroaree, localizzate in una fascia di fondale di circa 2 km e compresa fra le isobate degli 8 ai 25 m verso il largo.

A partire da Torre Guaceto e sino a Torre S. Leonardo, il posidonieto occupa una fascia larga circa 1,5÷2 km, compresa tra le isobate degli 8-9 m e dei 18-20 m ed è caratterizzata da un profilo morfobatimetrico con pendenza media intorno al 2%. Lungo la fascia costiera più a Nord, tra Torre S. Leonardo e la cittadina di Savelletri, grazie alla minore pendenza del fondale marino (intorno all'1÷0,8%), il posidonieto occupa una fascia di fondale man mano sempre più ampia che sfiora i 2,5 km di larghezza, sino grossomodo al traverso di Torre Canne. Nel tratto compreso fra Savelletri e Monopoli esso si estende sino all'isobata dei 20 m, evidenziando una progressiva diminuzione della sua ampiezza man mano che si avvicina a Monopoli, laddove esso termina.

## 4. IPOTESI DI STUDIO

### 4.1 Caratteristiche e quantità dei sedimenti messi in sospensione

Dall'analisi granulometrica effettuata sui campioni di sedimento prelevati all'interno del Porto di Villanova è emerso che gli stessi sono costituiti in media dal **97% di sabbia** e dal **3% di pelite**, aventi diametri medi pari rispettivamente a 1 mm e 0,05 mm e densità media pari a 2.000 kg/mc per la sabbia e 2.100 kg/mc per la pelite.

Considerato che la quantità totale di materiale da dragare per ripristinare l'efficienza e la sicurezza del bacino portuale in termini di navigabilità è pari a circa 70.000 mc e che giornalmente verranno dragati circa 1.400 mc, corrispondenti alla capacità di tramoggia della draga, risulta che in media ogni giorno, per un totale di cinquanta giorni di attività, saranno dragati 1.358 mc di sabbia e 42 mc di pelite.

Ipotizzando, a vantaggio di sicurezza, che la draga durante la fase di movimentazione ed aspirazione del materiale, non riesca ad aspirare una quantità pari al 10% di sabbia e una quantità pari al 50% di pelite, che rappresenta la frazione più fine del sedimento, significa che per ogni attività giornaliera restano in sospensione 136 mc di sabbia e 21 mc di pelite.

A seguito del processo di sedimentazione del materiale messo in sospensione durante le attività di movimentazione della draga, si stima che alle panne galleggianti antitorbidità, poste in corrispondenza dell'imboccatura del porto, arrivi solo il 10% della sabbia messa in sospensione, pari a 14 mc, e l'80% della pelite, pari a 17 mc, in quanto si tratta di sedimento a granulometria molto fine.

L'efficacia delle barriere anti-torbidità è determinata principalmente dalla situazione idrodinamica del sito: le condizioni che riducono l'efficienza di tali dispositivi sono riconducibili a forti correnti, venti intensi, variazioni significative nel livello dell'acqua ed eccessiva altezza delle onde.

I sistemi di contenimento fisico di tipo non strutturale, come le barriere anti-torbidità previste, consentono un'efficace azione di contenimento dei sedimenti in sospensione in acque relativamente poco profonde e limitatamente agitate. Con l'aumentare della profondità, del moto ondoso e della turbolenza da esso generata diviene molto più difficile isolare il sito di intervento dall'ambiente circostante.

L'approfondita conoscenza idrodinamica del sito in oggetto, ha evidenziato altezze d'onda limitate e correnti di circolazione di bassa intensità, in particolare negli strati più profondi, pertanto si ritiene che il sistema di contenimento previsto sia adeguato e possa garantire elevata efficacia.

Ciononostante, nel corso delle attività si potrebbero verificare lacerazioni, tagli, fori o altri problemi che possono compromettere l'efficacia delle barriere anti-torbidità e provocare una perdita localizzata di materiale verso l'esterno del porto.

Considerando ciò, si stima che le panne anti-torbidità, in condizioni meteomarine avverse o a seguito di malfunzionamento delle stesse, riescano a trattenere il 50% del sedimento in



sospensione, pertanto la quantità giornaliera che si stima fuoriuscire dal porto risulta pari a 7 mc di sabbia e 8 mc di pelite.

Considerando che la velocità di sedimentazione, a parità di altre condizioni, dipende dal quadrato del diametro delle particelle (Legge di Stokes), ne discende che le particelle di sabbia si depositeranno in un tempo nettamente inferiore a quello necessario per la sedimentazione delle particelle di pelite.

**Pertanto, nel presente studio si valuterà soltanto la diffusione in mare delle particelle di pelite messe in sospensione durante le attività di dragaggio dei fondali marini, pari a 8 mc giornalieri.**

A titolo di esempio, si riporta in *Tabella 1*, la velocità di sedimentazione dall'altezza di 1 m per particelle di vario diametro, supposte sferiche, prive di carica elettrica e sospese in acqua a 10°C.

Sostanze sospese	Diametro particellare $\mu\text{m}$	Tempo di caduta da 1 m
Ghiaia	10000	1,5 sec
Sabbia grossa	1000	6 sec
Sabbia fine	100	3 min
Limo	10	3 ore
Batteri	1	300 ore
Argilla	0,1	1500 giorni
Sospensioni colloidali	0,01	450 anni

**TABELLA 1** VELOCITÀ DI SEDIMENTAZIONE DELLE SOSTANZE

## 4.2 Studio del vento e delle onde

Per lo studio del clima anemologico nella zona di Villanova si è proceduto all'elaborazione statistica dei dati di vento triorari registrati nella stazione di misura dell'Aeronautica Militare di Brindisi. La scelta di utilizzare i dati registrati a Brindisi è sicuramente la migliore possibile considerata sia la vicinanza tra i due paraggi che l'esposizione ai venti foranei (*Figura 4*).

La stazione di misura si è ubicata ad una quota di 24,5 m s.l.m..

Il periodo di osservazione per cui i dati sono disponibili va dal 1951 al 1996 e la serie storica delle registrazioni risulta essere completa (*Figure 5 e 6 e Tabella 2*). Le registrazioni riportano per ogni osservazione la data e i valori della direzione e dell'intensità del vento.



FIGURA 4 POSIZIONE DEL PARAGGIO DI VILLANOVA RISPETTO ALLA STAZIONE ANEMOMETRICA DI BRINDISI

		Velocità [kn]				
		1÷7	8÷17	17÷34	34÷48	>48
DIR [gradi Nord]	45	2.51	2.92	0.81	0.01	0
	90	1.88	2.2	0.25	0	0
	135	2.28	4.02	0.96	0.01	0
	180	4.58	8.35	2.14	0.01	0
	225	3.24	3.11	0.43	0	0
	270	3.92	3.74	0.53	0.01	0
	315	4.23	12.32	3.45	0.03	0
	360	3.69	8.47	2.8	0.05	0

TABELLA 2 PERCENTUALI DI APPARIZIONE DURANTE L'INTERO PERIODO

PERIODO DI OSSERVAZIONE: 1951-1996

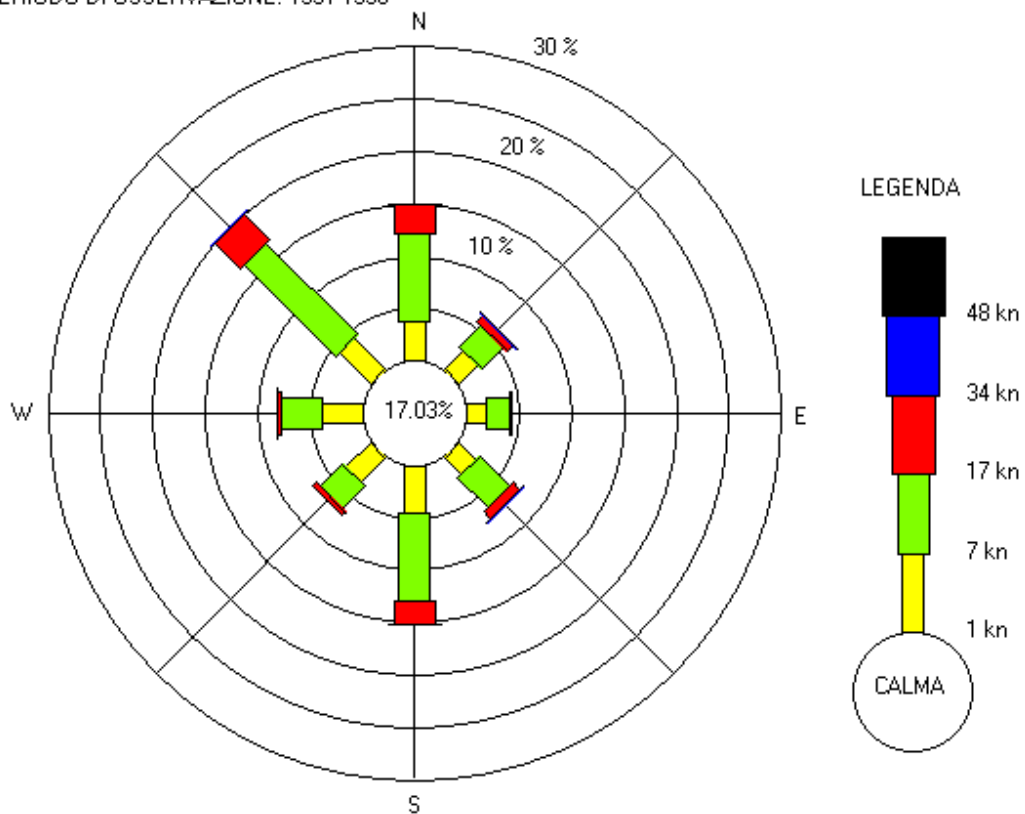
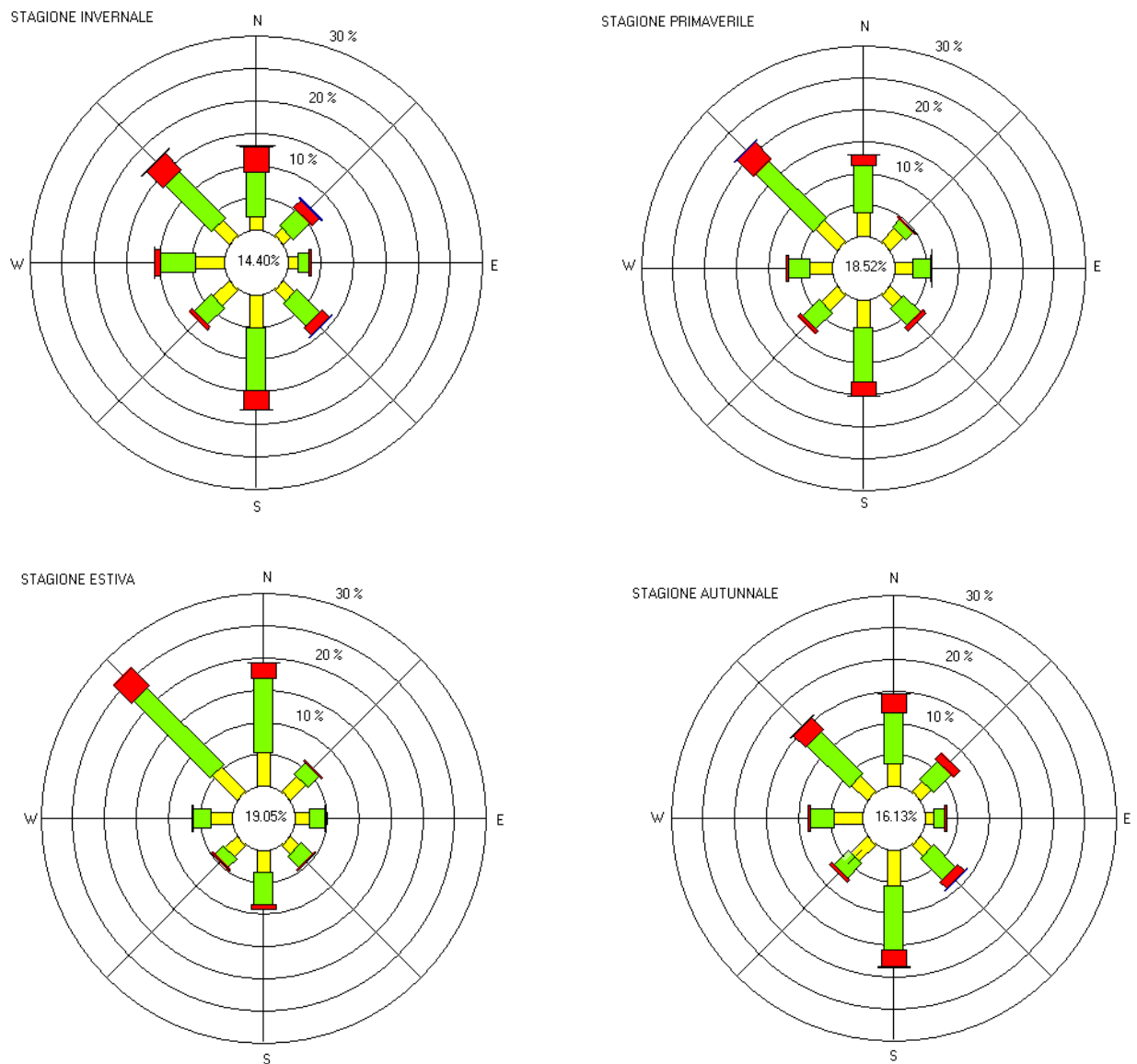


FIGURA 5 DISTRIBUZIONE DELLE FREQUENZE DI APPARIZIONE DEI VENTI PER DIREZIONE DI PROVENIENZA



**FIGURA 6** DISTRIBUZIONE DELLE FREQUENZE DI APPARIZIONE DEI VENTI PER DIREZIONE DI PROVENIENZA NELLE DIVERSE STAGIONI

L'incidenza dei casi di calma si aggira sul 17% dell'intera popolazione, con una concentrazione massima in estate e primavera (19% delle osservazioni) ed un minimo in inverno (14%).

La distribuzione delle frequenze di apparizione dei venti per direzione di provenienza (*Figura 5*) mostra una prevalenza dei venti da NO che costituiscono il 20% di tutti i casi. I venti spiranti da N e S rappresentano le direzioni immediatamente più popolate, con il 15%, seguita dal vento da O con circa l'8%. Tra i venti foranei si segnalano anche i venti da NE e da SE, a cui competono il 7% delle osservazioni.

Se si classificano i dati secondo l'intensità, si osserva che le frequenze maggiori spettano ai venti di tramontana e maestrale.

Per la ricostruzione del clima ondoso al largo di Villanova sono state utilizzate le registrazioni dei dati anemometrici effettuate dalla stazione meteorologica dell'Aeronautica Militare, ubicata a Brindisi, nel periodo che va dal 1951 al 1996.

Il clima meteomarinico del paraggio è stato definito ricostruendo con il modello S.P.M. tutti gli episodi ondosi conseguenti all'azione dei venti foranei rilevati dalle stazioni di misura di Brindisi.

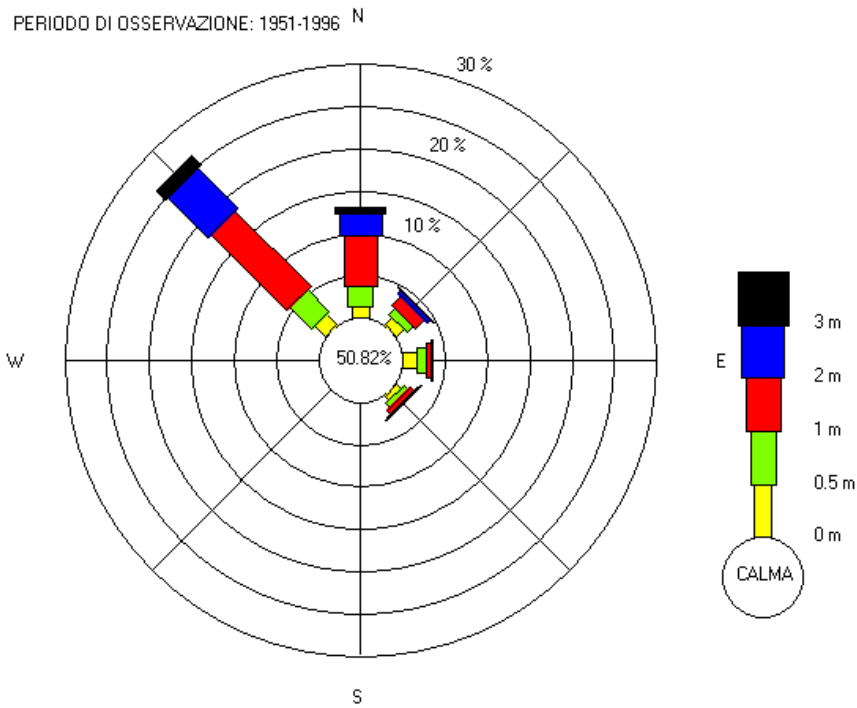
Le grandezze significative relative ad ogni evento sono state suddivise in classi di altezza e periodo per ogni direzione di provenienza. È stata così ottenuta un'analisi di dettaglio delle mareggiate più intense, ottenendo un quadro completo del clima ondoso che interessa la zona.

Dall'analisi della frequenza delle mareggiate ricostruite (tab. 4.a) risulta che le calme costituiscono il 50,8% delle osservazioni, presentando una concentrazione minima durante i mesi estivi (41%) ed un massimo nei mesi autunnali ed invernali (55%).

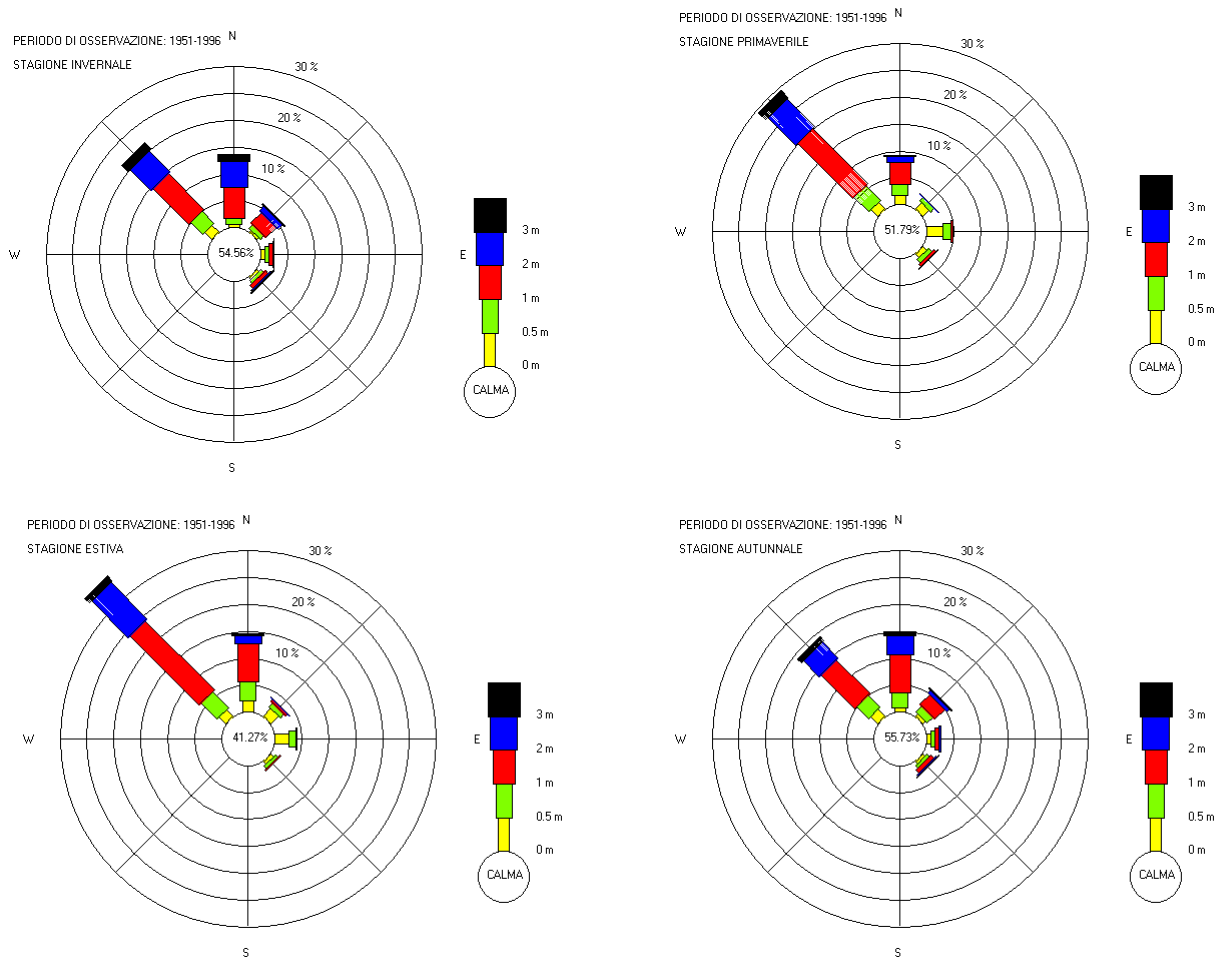
Dalla distribuzione delle frequenze di apparizione delle onde per direzione di provenienza (*Figure 7 e 8 e Tabella 3*) si osserva che il maggior numero di mareggiate proviene da NO con una percentuale pari al 26%. Le onde provenienti da N presentano una percentuale del 13%. Scarsa rilevanza va data alle mareggiate provenienti dalle restanti direzioni.

		H [m]				
		0÷0.5	0.5÷1	1÷2	2÷3	>3
DIR [gradi Nord]	0	0.83	1.62	3.31	1.66	0.32
	30	0.84	0.9	1.78	0.75	0.07
	60	0.78	0.55	0.52	0.08	0.03
	90	1.11	0.65	0.25	0.04	0
	120	1.07	1.02	0.78	0.19	0.03
	300	0.6	1.29	1.82	0.42	0.06
	330	1.38	2.87	12.94	7.02	1.59

TABELLA 3 PERCENTUALI DI APPARIZIONE DURANTE L'INTERO PERIODO



**FIGURA 7** DISTRIBUZIONE DELLE FREQUENZE DI APPARIZIONE DELLE ONDE PER DIREZIONE DI PROVENIENZA



**FIGURA 8** DISTRIBUZIONE DELLE FREQUENZE DI APPARIZIONE DELLE ONDE PER DIREZIONE DI PROVENIENZA NELLE DIVERSE STAGIONI

Dagli studi effettuati sulla distribuzione delle frequenze di apparizione dei venti e delle onde per direzione di provenienza, risulta una prevalenza degli stessi da NO.

Tuttavia, rispetto alla posizione del posidonieto, antistante la fascia costiera del porto di Villanova, un vento da NO risulterebbe decisamente sfavorevole al trasporto dei sedimenti, messi in sospensione durante le attività di dragaggio, verso il posidonieto stesso.

Pertanto, **nel presente studio è stata considerata come direzione di provenienza dei venti e delle onde quella di SO**, che risulta avere una direzione ortogonale alla fascia di posidonieto, e di conseguenza risulta essere la più favorevole al trasporto dei sedimenti verso lo stesso SIC.

### 4.3 Studio delle correnti

Al fine di comprendere al meglio le dinamiche che potenzialmente possono influenzare le operazioni di refluento in mare dei sedimenti oggetto di escavo e le caratteristiche idrodinamiche della zona individuata per tali operazioni, non ci si può esimere dall'esaminare il contesto ben più ampio dell'intero bacino adriatico che ne influenza le dinamiche.

L' Adriatico è il bacino più continentale del Mare Mediterraneo, si sviluppa per una lunghezza di 800 km e per una larghezza di 200 km, con una profondità media di 250 m ed una profondità massima di 1.200 m in corrispondenza della "fossa sud adriatica".

L'apporto di grandi quantità di acque dolci, dovute ai fiumi che sfociano nella parte più settentrionale del bacino, determina una diminuzione della salinità delle acque marine in quell'area, mentre nella zona più meridionale sono presenti acque più calde e salate (38‰) che si mescolano con quelle che provengono dallo Jonio.

Tutto ciò provoca la presenza di tre strati d'acqua a differente densità che, unitamente al moto di rotazione della Terra e dei venti, instaurano un sistema ciclonico di circolazione generale delle acque in senso antiorario. Infatti, distinguiamo uno strato superficiale del bacino settentrionale (influenzato da acque di origine fluviale e quindi poco salato), uno strato intermedio di origine jonica più caldo e salato, che penetra attraverso il Canale d'Otranto, lambisce le coste iugoslave sino al Golfo di Trieste e Venezia, dove perde parte del suo calore e si diluisce con le acque dei fiumi, infine, uno strato profondo, caratterizzato da acque dense, che si origina in inverno nell'Adriatico settentrionale, lambisce le coste italiane e giunge sino allo Jonio.

Nel periodo autunno-inverno, le acque dell'Adriatico settentrionale si raffreddano e diventano più dense. Questo, insieme all'azione del moto ondoso, provoca condizioni di instabilità nella colonna d'acqua. Le acque al largo defluiscono allora verso Sud e vengono sostituite da masse più salate meridionali, provenienti dalla parte centrale del bacino.

In estate, invece, le acque del Nord-Adriatico sono assai meno dense rispetto al periodo invernale per l'aumento della temperatura ed i forti apporti di acque dolci non compensati dalla, sia pur elevata, evaporazione. Il divario di densità con il bacino meridionale aumenta, e le correnti di gradiente hanno quindi la massima intensità. Ne deriva che il massimo ricambio (cioè flusso entrante ed uscente) attraverso il canale d'Otranto, si ha in estate.



Di seguito si riportano i dati desunti da campagne di indagini specifiche sulla circolazione delle correnti nel bacino di interesse, per il periodo 2001 – 2010, forniti dal modello numerico per il Mar Mediterraneo del progetto MyOcean, su grigliato regolare con passo di griglia 1/16 di grado (sia per latitudine che per longitudine).

Tali dati della velocità della corrente consistono in medie mensili su 72 livelli di profondità. Sono stati raggruppati per stagione e per anno al fine di valutare in ogni punto di griglia le medie stagionali e annuali dell'intensità e della direzione della componente orizzontale della velocità in corrispondenza della superficie e del fondo. Sono stati inoltre valutati i trend temporali e la distribuzione spaziale.

I risultati vengono analizzati attraverso la realizzazione di mappe dei valori di corrente sulla superficie e al fondo. Attraverso di esse è possibile caratterizzare il campo fluidodinamico della sotto-regione e valutare la presenza di eventuali trend temporali e la distribuzione spaziale.

Si riportano di seguito le mappe rappresentanti il campo fluidodinamico sulla superficie libera nei 10 anni analizzati (2001 – 2010) e i valori medi relativi alle singole stagioni.

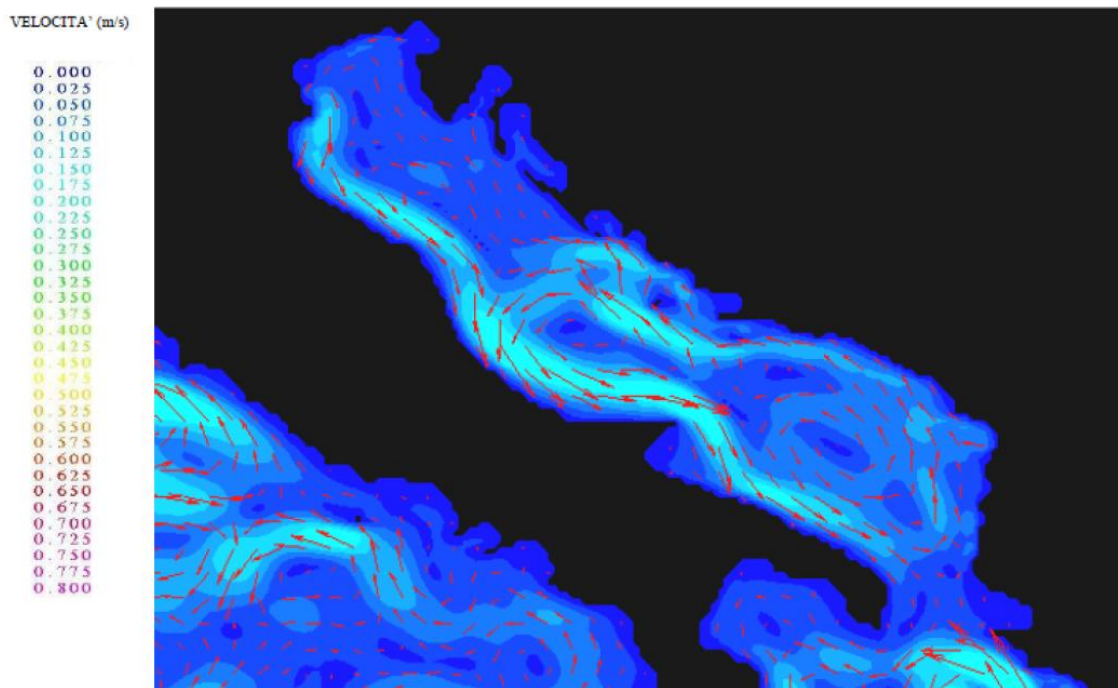
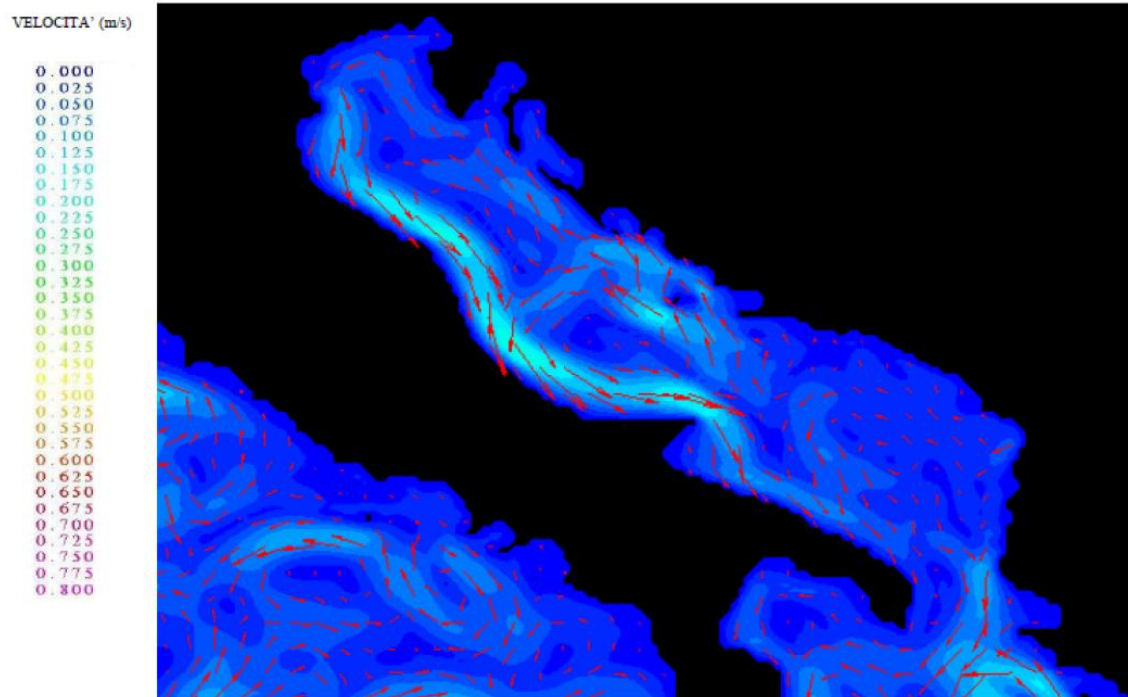
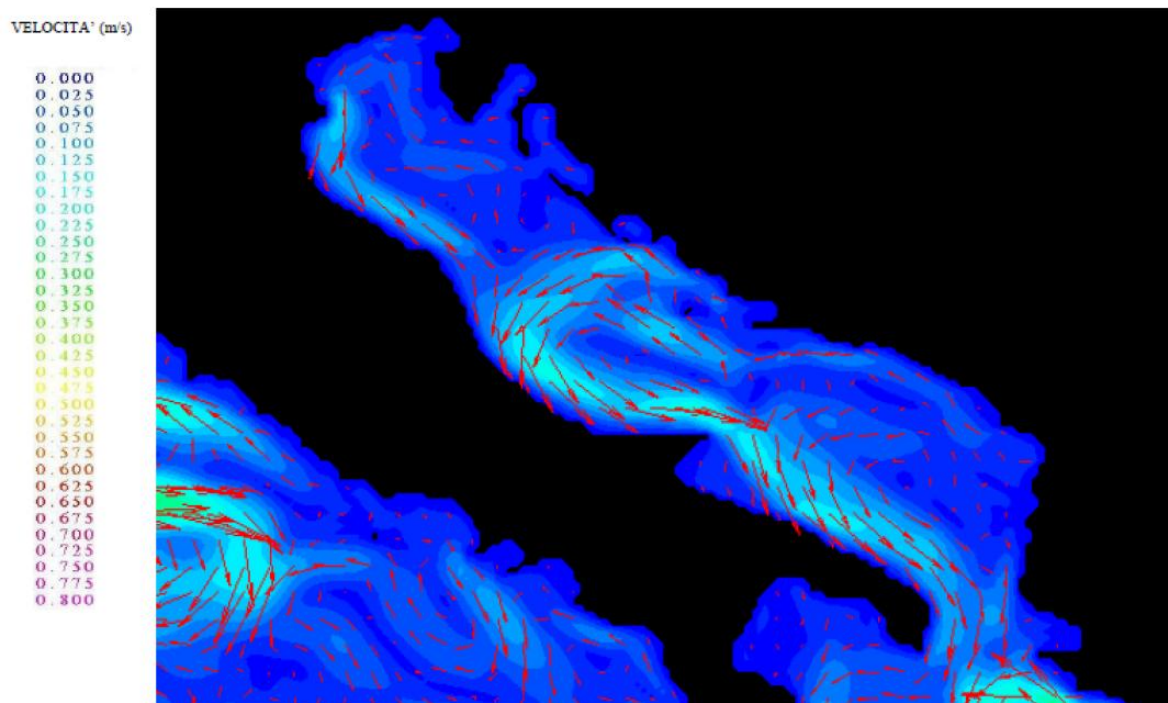


FIGURA 9 VELOCITÀ MEDIA SULLA SUPERFICIE LIBERA (MEDIA DAL 2001 AL 2010)



**FIGURA 10** VELOCITÀ MEDIA SULLA SUPERFICIE LIBERA NEL PERIODO PRIMAVERILE (MEDIA DALLA PRIMAVERA 2001 ALLA PRIMAVERA 2010)



**FIGURA 11** VELOCITÀ MEDIA SULLA SUPERFICIE LIBERA NEL PERIODO ESTIVO (MEDIA DALL'ESTATE 2001 ALL'ESTATE 2010)

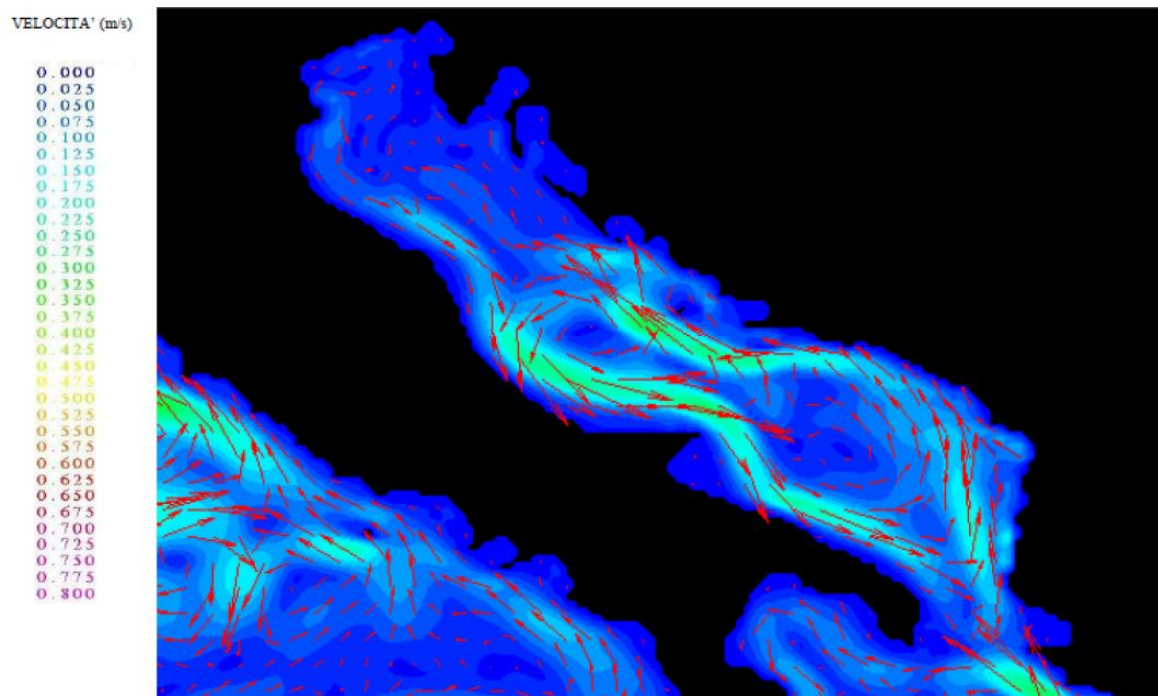


FIGURA 12 VELOCITÀ MEDIA SULLA SUPERFICIE LIBERA NEL PERIODO AUTUNNALE (MEDIA DALL'AUTUNNO 2001 ALL'AUTUNNO 2010)

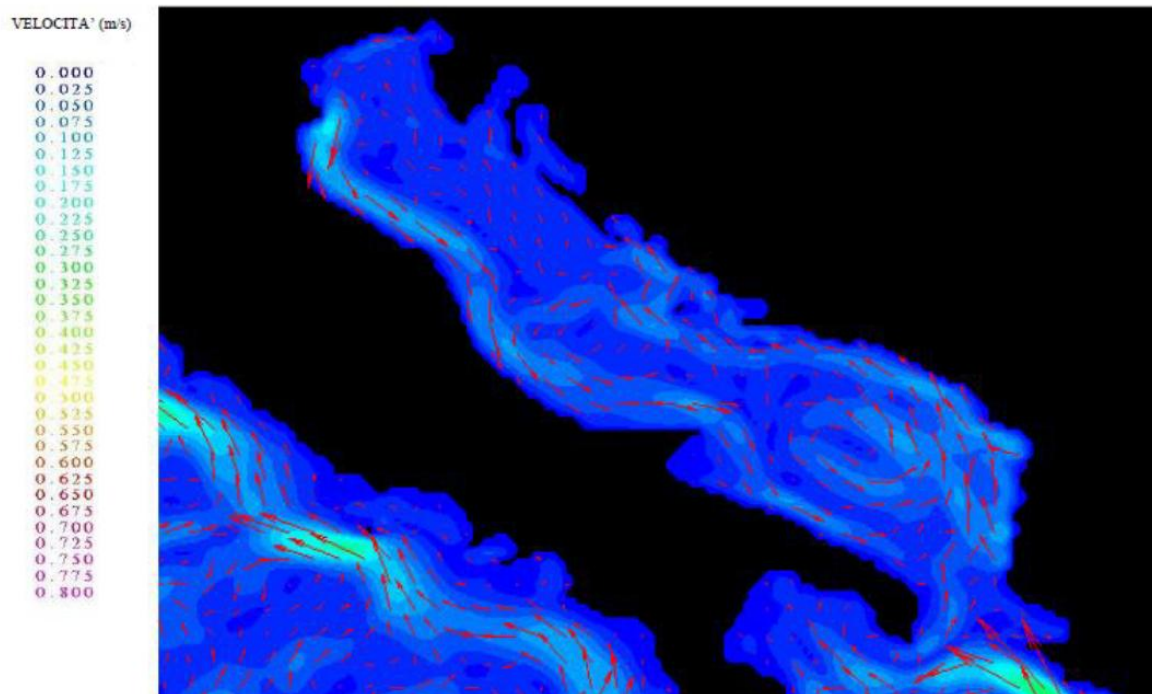


FIGURA 13 VELOCITÀ MEDIA SULLA SUPERFICIE LIBERA NEL PERIODO INVERNALE (MEDIA DALL'INVERNO 2001 ALL'INVERNO 2010)

La prima mappa, mostrata in *Figura 9*, consente di individuare le caratteristiche principali del campo fluidodinamico medio nei 10 anni analizzati (2001 – 2010).

Da ciò si evince che la velocità della corrente a largo del porto di Villanova di Ostuni risulta pari a 0,15 m/s, la quale si riduce a valori molto più bassi in prossimità della costa. Per tale motivo, nel presente studio sulla stima della diffusione dei sedimenti in mare, seppur l'area di interesse riguarda una fascia costiera che si estende solo fino a 300 m dalla costa, in via cautelativa, **la velocità della corrente è stata considerata pari a 0,10 m/s.**

## 5. MODELLO DI CALCOLO E SIMULAZIONE DEL CAMPO FLUIDO

Lo studio della dispersione di inerti nella corrente marina, passa dalla definizione del campo di moto in oggetto ovvero dalla definizione delle variabili fluidodinamiche che influenzano il fenomeno di trasporto e la deposizione delle particelle di inerti in uscita dal porto.

Tale studio è matematicamente descritto dalle equazioni di Navier-Stokes, sistema di equazioni differenziali alle derivate parziali, per le quali, come è noto, una soluzione analitica è possibile solo per pochi casi semplici.

Il flusso oggetto di studio ha caratteristiche di velocità, densità e pressione che, per quello che è il valore del modulo di comprimibilità del fluido (acqua), può senza dubbio dirsi incomprimibile. Esso è dunque descritto dalle equazioni di Navier-Stokes per flussi incomprimibili:

Conservazione della massa:  $\nabla \cdot (\vec{u}) = 0$

Conservazione della quantità di moto:  $\frac{\rho D\vec{u}}{Dt} = -\nabla p + \rho \vec{f} + \mu \nabla^2 \vec{u}$

È necessario dunque procedere per via numerica, ovvero discretizzando lo spazio fluido e il tempo e riscrivendo i termini delle equazioni funzione delle variabili fluidodinamiche, calcolate al centro delle celle che discretizzano lo spazio, e considerandole costanti nelle celle (metodo ai volumi finiti) ad ogni istante temporale e, invece, variabili da un istante al successivo e da una cella all'altra. La discretizzazione del dominio spazio-tempo, inoltre, nella maggioranza dei casi non prevede di avere intervalli di tempo e di spazio tra i nodi delle celle sufficientemente ridotti affinché sia possibile calcolare le oscillazioni delle variabili dovute al fenomeno della turbolenza. Si rende dunque necessario utilizzare un modello di turbolenza adeguato alla discretizzazione e al flusso studiato, che consente di calcolare l'effetto del fenomeno sulle variabili discrete delle celle, il quale consta di equazioni e variabili aggiuntive, che possono essere una o più di una a seconda del modello stesso.

Le equazioni discretizzate ottenute corrispondono ad un sistema algebrico le cui equazioni sono il risultato del metodo numerico scelto, tra i tanti possibili e presenti in letteratura. Ad ogni cella corrisponde un set di equazioni in numero pari al numero delle incognite in quella stessa cella, e poiché le incognite coinvolte sono anche quelle di alcune celle adiacenti (queste dipendenti dalla cosiddetta cella computazione del metodo) ne risulta un sistema di un numero di equazioni pari al numero delle celle dello spazio fisico discretizzato per il numero di incognite per ciascuna delle celle, equazioni collegate dalle variabili coinvolte dalla cella computazionale. Il sistema risulta chiuso dalla imposizione delle condizioni sulle variabili del contorno del dominio spaziale e dalla conoscenza delle condizioni all'istante iniziale della simulazione.

La preparazione di una simulazione consta dunque dei seguenti passaggi:

- Definizione del dominio spaziale interessato dal flusso;
- Discretizzazione opportuna del dominio spaziale ovvero realizzazione di una griglia di calcolo o computazionale o mesh;
- Scelta del metodo numerico di discretizzazione delle equazioni e corrispondentemente del codice di calcolo da utilizzare;
- Imposizione delle condizioni al contorno coerenti e ben poste rispetto al problema fluidodinamico in studio, e attraverso i parametri impostabili nel codice scelto;
- Scelta del valore dell'intervallo temporale per lo studio dell'evoluzione dei fenomeni coinvolti;
- Scelta del modello di turbolenza adeguato al problema, la quale, pur non volendo entrare in dettagli tecnici, influenza anche la costruzione della mesh di cui al secondo punto;
- Esecuzione della simulazione fluidodinamica al calcolatore;
- Analisi dei risultati e valutazione dell'errore dovuto all'algoritmo di discretizzazione (post-processing e calcolo dei residui).

I precedenti passaggi sono stati eseguiti da un gruppo di lavoro di fluidodinamica numerica del Dipartimento di Meccanica Matematica e Management (DMMM) del Politecnico di Bari, in particolare costituito da: Prof. Ing. Giuseppe Pascazio, Prof. Ing. Marco Donato de Tullio, Ing. Giovanni Caramia, Ing. Sergio Ranaldo.

I calcoli sono stati eseguiti con l'ausilio dei software e delle risorse di calcolo in uso presso il Dipartimento di Meccanica Matematica e Management (DMMM).

## 5.1 Geometria e dominio fluido

La geometria e l'estensione del campo di moto da studiare, cioè del volume fluido che influenza il fenomeno di interesse, è ricavata dalla mappa quotata del porto di Villanova e dai dati relativi al fondale in termini di profondità in funzione della posizione. Il fondale è stato approssimato ad un semplice piano inclinato nella direzione della profondità, che passa da un minimo di 5 m, in prossimità dell'uscita del porto, ad un massimo di 13.7, ad una distanza di 300 m.

Altre simulazioni fluidodinamiche di fenomeni simili consentono di limitare il dominio di calcolo in pianta, lungo le direzioni trasversali alla corrente, di una quantità pari a circa 10 volte la profondità massima interessata. Nel caso in oggetto si è scelta una distanza trasversale di 300 m dalla zona dell'ingresso del porto, ampiamente al di sopra del limite considerato per affermare che la corrente possa ritenersi indisturbata.

Il dominio di calcolo così costruito risulta dal volume rappresentato in *Figura 14*.

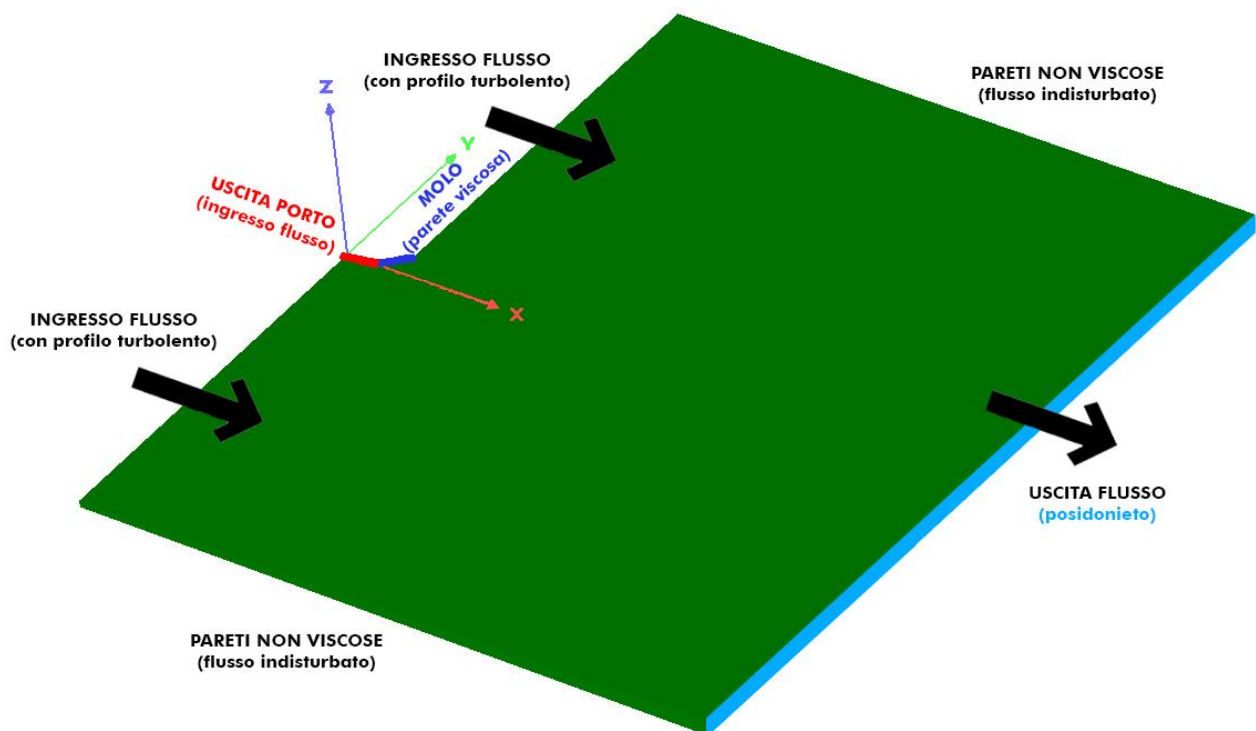


FIGURA 14 SCHEMATIZZAZIONE DEL DOMINIO DI CALCOLO

## 5.2 Realizzazione delle mesh

La griglia di calcolo costruita con l'ausilio del software Pointwise® prevede la suddivisione del dominio in blocchi discretizzati in celle esaedriche, in modo da ottenere una griglia strutturata che permetta di gestire con precisione le dimensioni delle celle nelle zone critiche, evitare eccessive distorsioni angolari (angle skewness), differenze dimensionali nella distanze tra i lati delle facce di ogni singola cella (size skewness), differenze dimensionali tra le distanze nodali di celle adiacenti, e soprattutto il controllo del loro sviluppo lungo la profondità. Nel caso specifico, sono state costruite due griglie di calcolo.

Nella prima si sono costruiti 6 blocchi, per un totale di 600.080 celle, con un'altezza della prima cella adiacente al fondale di 0,5 m, mantenuta costante visto l'interesse nella zona di deposizione. La dimensione lungo il fondale (asse z del sistema di riferimento) risulta variabile e raggiunge un massimo di 2 m in corrispondenza della superficie. Per questa mesh si è accorciato il dominio di calcolo lungo una direzione ortogonale alla corrente, introducendo, a distanza di 20 m dall'uscita del porto, una parete: ciò modifica il dominio di calcolo influenzando la soluzione. Tuttavia il confinamento del flusso comporta una componente di velocità mediamente maggiore lungo la direzione della corrente (asse x) e dunque, in ogni caso, sfavorevole alla deposizione delle particelle.

La seconda mesh risulta di 7 blocchi, per un totale di 2.506.880 celle. In essa è ripristinato il dominio di calcolo originale e la dimensione della cella al fondo è dimezzata al valore di 0,25 m, e in generale tale mesh comporta una più alta risoluzione in tutte le zone del dominio.



### 5.3 Metodo numerico

Il metodo numerico utilizzato fa parte dei metodi di discretizzazione ai volumi finiti (le celle della mesh), e consiste nella soluzione delle equazioni di conservazione della massa e della quantità di moto opportunamente manipolate. Nel dettaglio, per il solutore scelto, le equazioni di governo vengono disaccoppiate (segregated-solver) e consentono di calcolare in sequenza le variabili dalla soluzione di una singola equazione. Si tratta di una procedura iterativa che è possibile schematizzare con i seguenti passaggi:

- Inizializzazione delle variabili fluidodinamiche, densità  $\rho$ , velocità  $\vec{v}$ , pressione  $p$ , o equivalentemente aggiornamento dal livello temporale precedente;
- Soluzione dell'equazione della quantità di moto, dalla quale si ricavano le componenti di velocità;
- Soluzione di un'equazione di correzione della pressione dovuta al campo di velocità precedentemente ricavato e considerando l'equazione di conservazione della massa;
- Correzione del campo di velocità e di pressione in relazione alla correzione sulla pressione ottenuta;
- Controllo della convergenza della soluzione valutando l'errore commesso sulle singole equazioni e per ogni cella della griglia, in caso di non convergenza i passaggi precedenti vengono ripetuti in un una nuova iterazione.

La motivazione della scelta risiede nell'affidabilità e robustezza del metodo; inoltre, esso richiede risorse di memorizzazione limitate, caratteristica che torna utile avendo campi di moto estesi e con l'obiettivo di aumentare, se necessario, la definizione della mesh.

Tale metodo è stato ampiamente utilizzato e si è dimostrato adeguato per flussi incomprimibili, ed in particolare con valori limitati di gradienti di velocità e pressione rispetto alla discretizzazione spaziale del campo di moto adottato.

Uno dei software di calcolo utilizzabili, nel quale il metodo viene adeguatamente implementato, è Ansys Fluent®, nella versione 17.2, utilizzato sotto licenza nel laboratorio di calcolo numerico del DMMM.

## 5.4 Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno del dominio di calcolo da imporre perché l'algoritmo risulti in un sistema di equazioni determinato, sono da prendere in considerazione considerando la compatibilità con il campo fisico oggetto di studio che ha limiti dimensionali diversi dal dominio computazionale; esse devono essere "compatibili" con il sistema di equazioni, e devono anche rappresentare una buona approssimazione della situazione fisica reale.

Allo scopo si è deciso di simulare la corrente assegnando alla superficie del dominio computazionale, coincidente con il pelo libero, una condizione di parete mobile con velocità uguale a quella della corrente superficiale.

Alla superficie parallela all'asse  $z$ , con versore normale entrante nel dominio, parallelo ed equiverso alla corrente, è stata assegnata una condizione di velocità entrante determinata (condizione di Dirichlet), il cui modulo è stato dato crescente dal fondo fino al valore massimo in superficie e pari al valore della corrente stessa.

La superficie opposta, con normale entrante nel dominio, parallela ma opposta in direzione alla corrente, viene definita di uscita per il flusso, con condizione di derivata nulla di velocità lungo la normale stessa (condizione di Von Neumann).

Anche la superficie rappresentante l'uscita del porto viene considerata un ingresso di flusso nel dominio, con velocità uniforme e uguale in modulo e direzione a quella della corrente, condizione che ovviamente favorisce ulteriormente il trasporto delle particelle che da esse vengono iniettate nel dominio.

Le pareti immerse, sufficientemente lontane dalla zona di studio, possono essere definite come "pareti non viscosi", ovvero incapaci di trasmettere sforzi tangenziali al flusso, sebbene annullino la componente di velocità ortogonale ad esse; considerando che la geometria è adattata e costruita in modo che esse siano parallele alla direzione della corrente, tale condizione approssima adeguatamente il flusso indisturbato.

Una delle pareti immerse, schematizzante la geometria della struttura laterale di uscita del porto (molo), è definita parete viscosa (velocità nulla in corrispondenza). Infine il fondale inclinato è anch'esso considerato una parete viscosa, ovvero con velocità nulla in corrispondenza delle facce delle celle che la definiscono.

## 5.5 Discretizzazione nel tempo

Sebbene il campo fluido possa ammettere una soluzione stazionaria, il problema del trasporto delle particelle e la loro immissione attraverso la superficie di uscita del porto è un fenomeno dipendente dal tempo ed è dunque necessario considerare un'adeguata discretizzazione in intervalli del dominio del tempo. Per la scelta si deve fare riferimento alla situazione di immissione delle particelle, il cui studio è tuttavia descritto più avanti.

Dai dati relativi alla portata in volume del materiale dragato in forma di pelite (ovvero in particelle di dimensione caratteristica approssimabile al valore minimo di  $10^{-5}$  m) e dal valore della loro densità (considerata al valore minimo di  $2,1 \text{ kg/dm}^3$ ), si è pervenuti alla scelta di un intervallo costante di 0,2 s. Ad ogni intervallo, vengono dunque immessi nel dominio un numero di particelle, legato alla portata di massa globale, tutte dello stesso diametro minimo e con velocità pari a quella della corrente in direzione e modulo, altra ipotesi favorevole al loro allontanamento dalla superficie di immissione.

## 5.6 Modello di turbolenza

Il numero di Reynolds che è possibile considerare nel caso di studio può essere basato sulla profondità media del dominio, in analogia ad un flusso di Couette. Esso è dunque dato dall'espressione:

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu}$$

e dunque approssimabile al valore di 560.000.

Il flusso non può che essere considerato turbolento e dunque si rende necessaria la scelta di un modello di turbolenza per la sua definizione. Uno dei modelli più usati per flussi simili, e dunque preso in considerazione nel caso in questione, è il modello  $k - \epsilon$  a due equazioni nelle variabili  $k$  (rappresentante l'intensità turbolenta) e  $\epsilon$  (rappresentante la dissipazione) che vanno ad aggiungersi alle equazioni di governo modificate opportunamente. Inoltre il modello prevede l'utilizzo di opportune funzioni di parete per la ricostruzione del gradiente di velocità, necessarie perché la discretizzazione spaziale prevede dimensioni delle celle in direzione ortogonale superiori alle dimensioni dello strato limite.

### 5.7 Simulazioni e risultati del campo di moto del fluido (assenza di particelle)

Le simulazioni del campo fluido sono state effettuate per entrambe le griglie di calcolo e mostrano risultati compatibili, in particolare nella zona interessata dal trasporto di particelle. Il fenomeno fisico simulato prevede differenze di pressione, in superfici piane ortogonali all'asse z (affondamento costante sulla superficie), valutabili in poche decine di Pascal e, la simulazione con le condizioni al contorno imposte, evidenzia tale situazione. Infatti, la differenza tra pressione massima e minima su tali piani non supera i 10 Pa in alcun caso.

La simulazione numerica effettuata, della quale saranno mostrati di seguito i risultati, prevede una corrente superficiale pari 0,1 m/s, con direzione ortogonale (SO) alla superficie rappresentante la superficie limite che le particelle trasportate non devono superare, ovvero la superficie di contorno vicina al posidonieto. Essa, come sopra descritto, è rappresentata dal contorno di uscita del dominio di calcolo (outflow). Nel sistema di riferimento adottato la direzione di velocità risulta quella dell'asse x, il vettore è dato quindi da  $v=(0,1; 0; 0)$  m/s.

Questo implica:

- Assegnare al contorno piano rappresentante la superficie del pelo libero (piano xy o  $z=0$  m) una velocità pari a quella della corrente (0,1 m/s);
- Assegnare ai contorni con normale parallela alla corrente, una velocità variabile crescente dal fondo, a velocità nulla, sino al valore superficiale di 0,1 m/s;
- Assegnare lo stesso profilo di velocità anche alla superficie di uscita dal porto, in questo caso i vettori velocità non sono paralleli alla normale della superficie.

La situazione descritta, ai fini della verifica del trasporto nella direzione del posidonieto, può ragionevolmente dirsi indicativa delle altre condizioni di corrente, variabili in direzione ma che abbiamo stessa componente di velocità (pari 0,1 m/s) lungo la direzione x, del dominio di calcolo, ovvero quelle condizioni di vento e corrente per cui si abbia un vettore velocità  $v=(0,1; v_y; v_z)$  con  $v_y$  e  $v_z$  non necessariamente nulli. Per cui, ad esempio, la direzione del vento dominante (NO) avrebbe componente di velocità lungo x, praticamente trascurabile, in tali condizioni, una simulazione fluidodinamica analoga porterebbe a delle condizioni del dominio fluido decisamente sfavorevoli al trasporto delle particelle nella direzione del posidonieto.

Tale valutazione risulterà chiara dopo la descrizione del modello di trasporto adottato per le particelle.

Il campo di moto è dunque descritto essenzialmente dalla velocità del fluido. A titolo di esempio, per la sola griglia fitta, vengono di seguito mostrate le linee di corrente (generate dalle superfici di ingresso del fluido) e i vettori velocità relativi ai centri delle celle in 3 diversi piani:

1. Piano con normale asse z i cui punti distano 1 m dalla superficie del pelo libero;
2. Piano con normale asse z i cui punti distano 3 m dalla superficie del pelo libero;
3. Piano parallelo al fondo e distante da esso 1 m.

Dal dettaglio relativo ai vettori velocità sul piano, a distanza pari a 1 m dal fondo si nota come la velocità, in particolare nella zona vicina al porto, venga mantenuta elevata e certamente maggiore di quella reale, in virtù della scelta del profilo di velocità in ingresso, condizione che si presenta favorevole ad un allontanamento delle particelle.

[Si fa notare che le curve di colore nero attraversanti il dominio, non sono rappresentative di alcuna variabile fluidodinamica interessante, ma mostrano semplicemente il limite dei blocchi del dominio di calcolo assegnati alle singole unità di elaborazione del calcolatore parallelo utilizzato.]

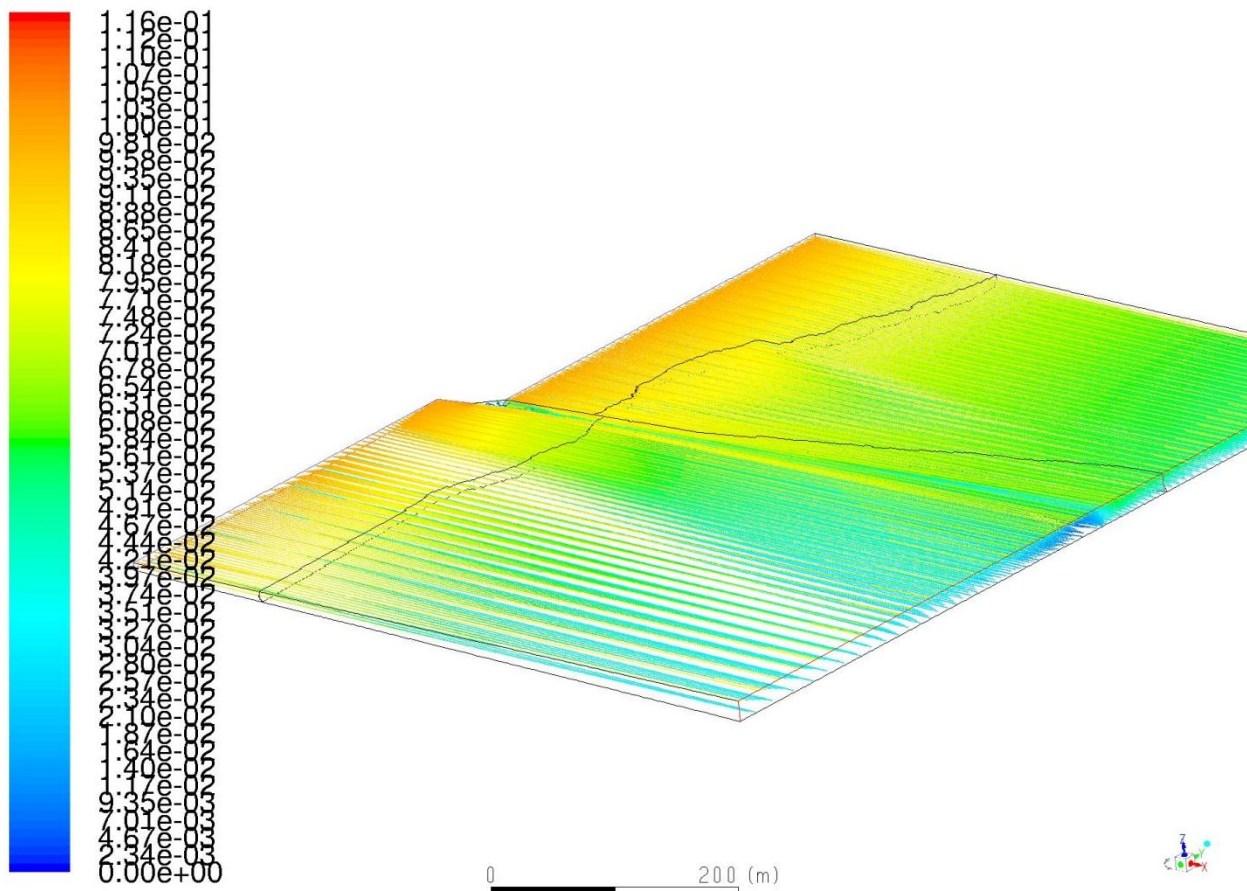


FIGURA 15 LINEE DI CORRENTE TRACCIATE A PARTIRE DALLE SUPERFICI DI INGRESSO. LA SCALA CROMATICA È FUNZIONE DEL MODULO DELLA VELOCITÀ (M/S).

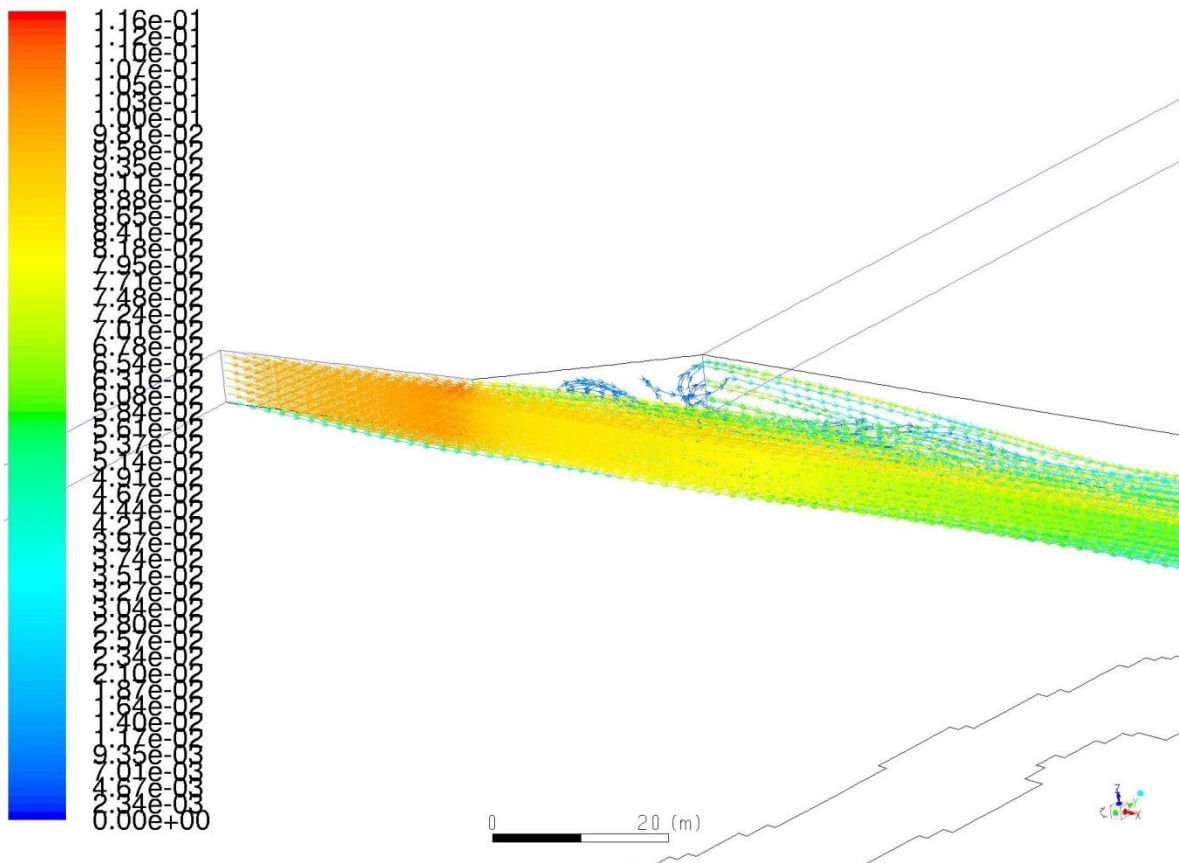


FIGURA 16 DETTAGLIO DELLE LINEE DI CORRENTE IN USCITA DAL PORTO.

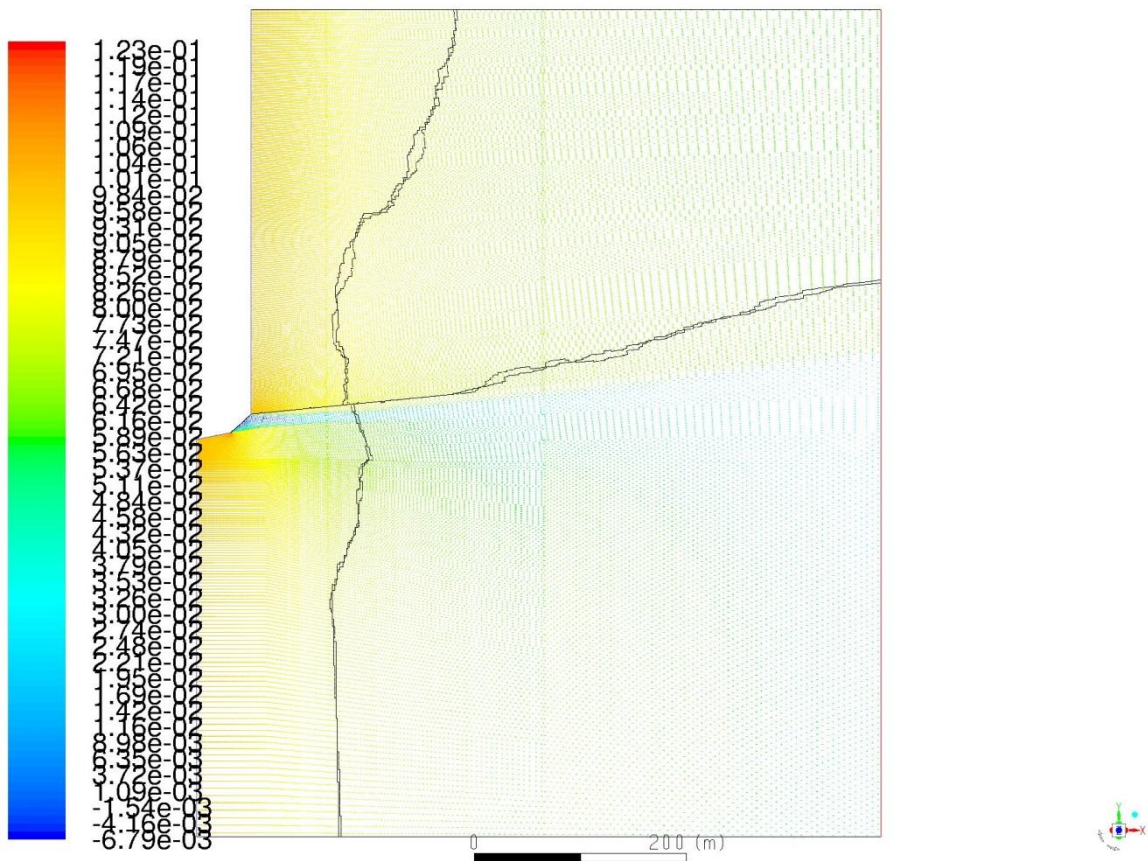


FIGURA 17 VETTORI VELOCITÀ A 1M DI PROFONDITÀ

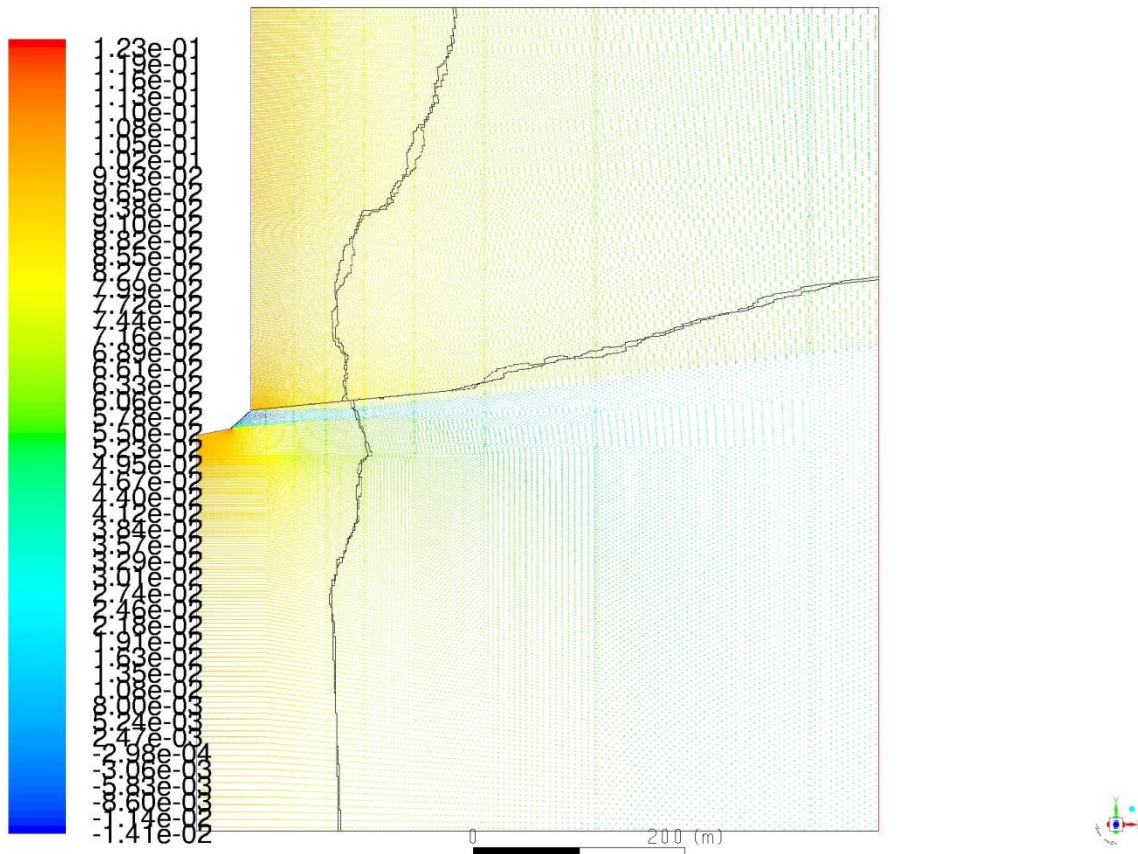


FIGURA 18 VETTORI VELOCITÀ A 3M DI PROFONDITÀ

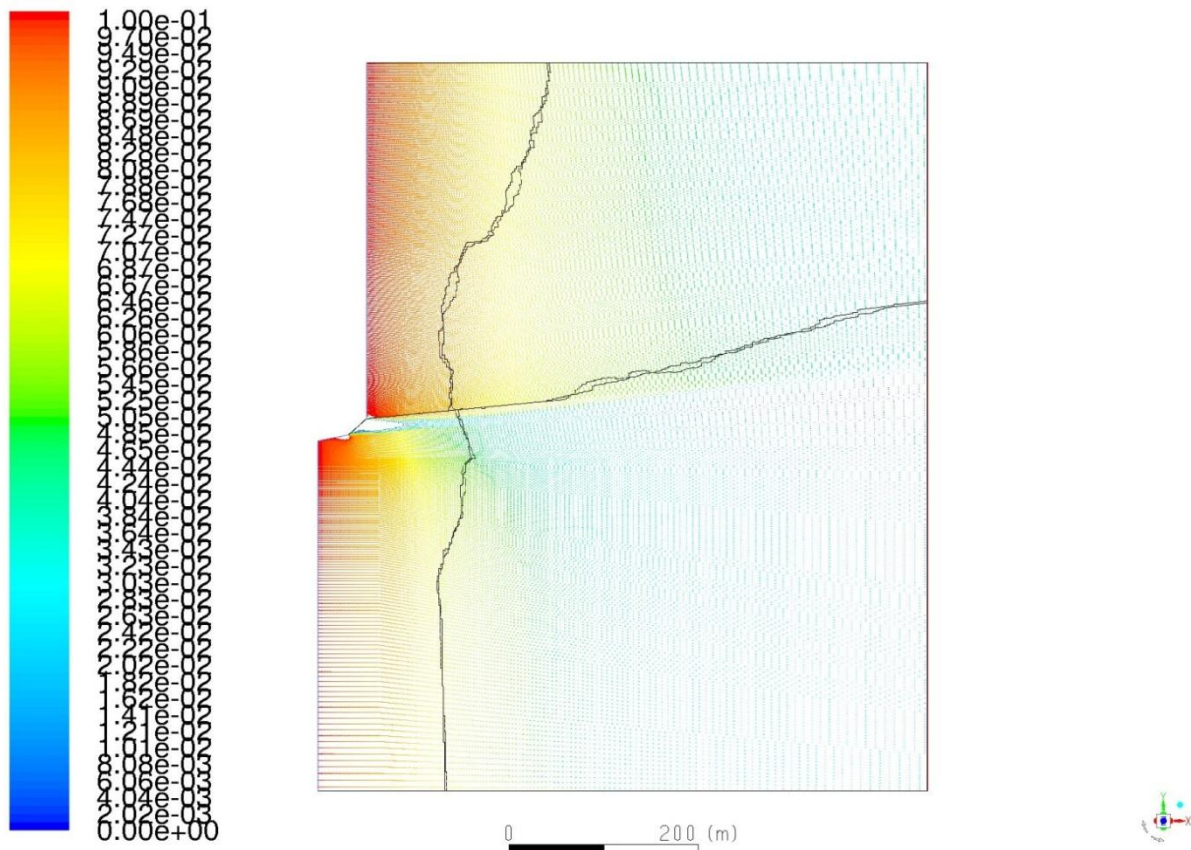
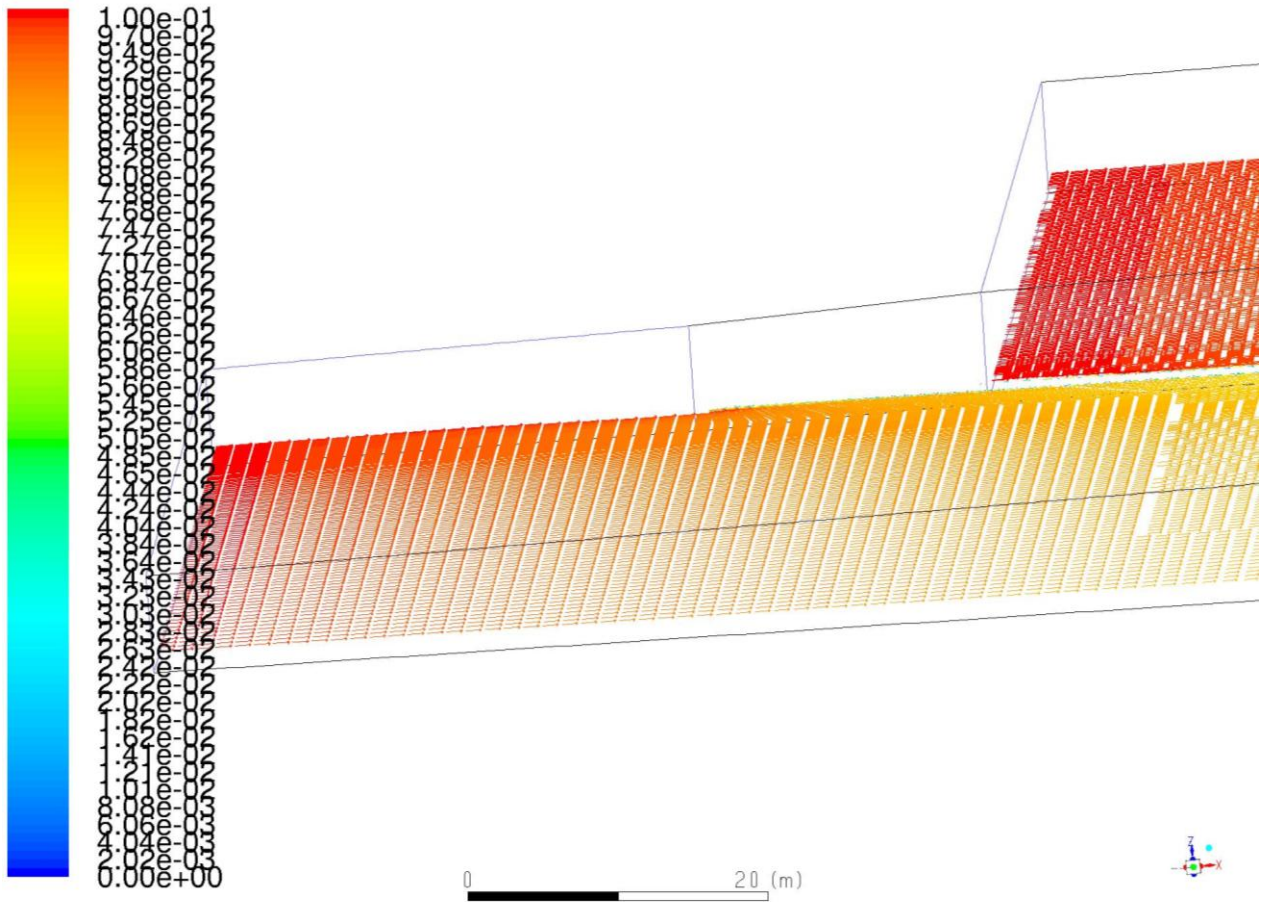


FIGURA 19 VETTORI VELOCITÀ A 1M DAL FONDO



**FIGURA 20** DETTAGLIO VETTORI VELOCITÀ A 1M DAL FONDO



## 6. MODELLO DI TRASPORTO DI PARTICELLE INERTI

Lo studio della dispersione di particelle nel flusso viene affrontato attraverso un approccio Euleriano-Lagrangiano. Si tratta dello studio di interazione di due fasi: la fase fluida e la fase solida discreta (particelle immerse). Il metodo scelto prevede lo studio della fase fluida attraverso la soluzione delle equazioni di Navier Stokes, mentre la fase solida, suddivisa in particelle, viene descritta calcolando la traiettoria e le proprietà cinematiche delle particelle in base all'interazione con il campo fluido, alle loro condizioni cinematiche iniziali e ad altre forze non connesse con il fluido quali collisioni, forze dovute ad ostacoli e contorni del dominio, forze di massa come la forza peso.

### 6.1 Modello di calcolo delle traiettorie

Le traiettorie sono calcolate aggiornando la posizione delle particelle ad ogni intervallo temporale, attraverso il calcolo della velocità  $\vec{u}$ , ricavata integrando la seconda legge della dinamica, ove il contributo delle forze scambiate col contorno fluido viene opportunamente modellato.

L'equazione di bilancio delle forze utilizzata nel modello può essere scritta come:

$$\frac{d\vec{u}_p}{dt} = \frac{\vec{u} - \vec{u}_p}{\tau_r} + \frac{\vec{g}(\rho_p - \rho)}{\rho_p} + \vec{F}$$

Dove:

- $\rho$  e  $\vec{u}$  sono densità e velocità del fluido;
- $(\rho_p - \rho)$  è la densità della fase solida;
- $\vec{F}$  è una accelerazione dovuta alle forze di massa (ad esempio l'accelerazione di gravità);
- $\frac{\vec{u} - \vec{u}_p}{\tau_r}$  è la forza di trascinamento per unità di massa della particella dovuta al flusso;
- $\tau_r$  è un tempo di rilassamento.

La definizione del tempo  $\tau_r$  è data da:

$$\tau_r = \frac{\rho_p d_p^2}{18\mu} \frac{24}{C_d Re_p}$$

Dove  $Re_p$  è il numero di Reynolds relativo alla particella:

$$Re_p = \frac{\rho d_p |\vec{u}_p - \vec{u}|}{\mu}$$

Le particelle introdotte ad ogni intervallo temporale attraverso la superficie di ingresso vengono dunque tracciate, ovvero viene calcolata la loro posizione attraverso l'equazione di bilancio delle forze, integrata numericamente nel tempo, a partire dalla loro posizione e velocità iniziale fissata come parametro di scelta.

## 6.2 Dati di ingresso

I dati di ingresso delle particelle inerti di pelite sono dati:

- dalla portata volumica in uscita dal porto durante il tempo di dragaggio giornaliero (stimato in 8 ore), che si stima pari a 8 mc;
- dalla densità della fase solida corrispondente, pari a 2.100 kg/mc.

Ciò comporta una portata in massa giornaliera pari a 0,58 kg/s.

Con l'obiettivo di valutare la posizione della loro deposizione sul fondale, è necessario ipotizzare una velocità di uscita dal porto che è stata impostata pari a quella della massima corrente, approssimazione per eccesso fatta sempre con l'obiettivo di favorire l'allontanamento dalla zona di immissione e simulare la deposizione nelle condizioni più sfavorevoli.

Si sono considerate particelle uniformi di dimensione caratteristica pari a quella più piccola rilevata, ovvero 0,05 mm.

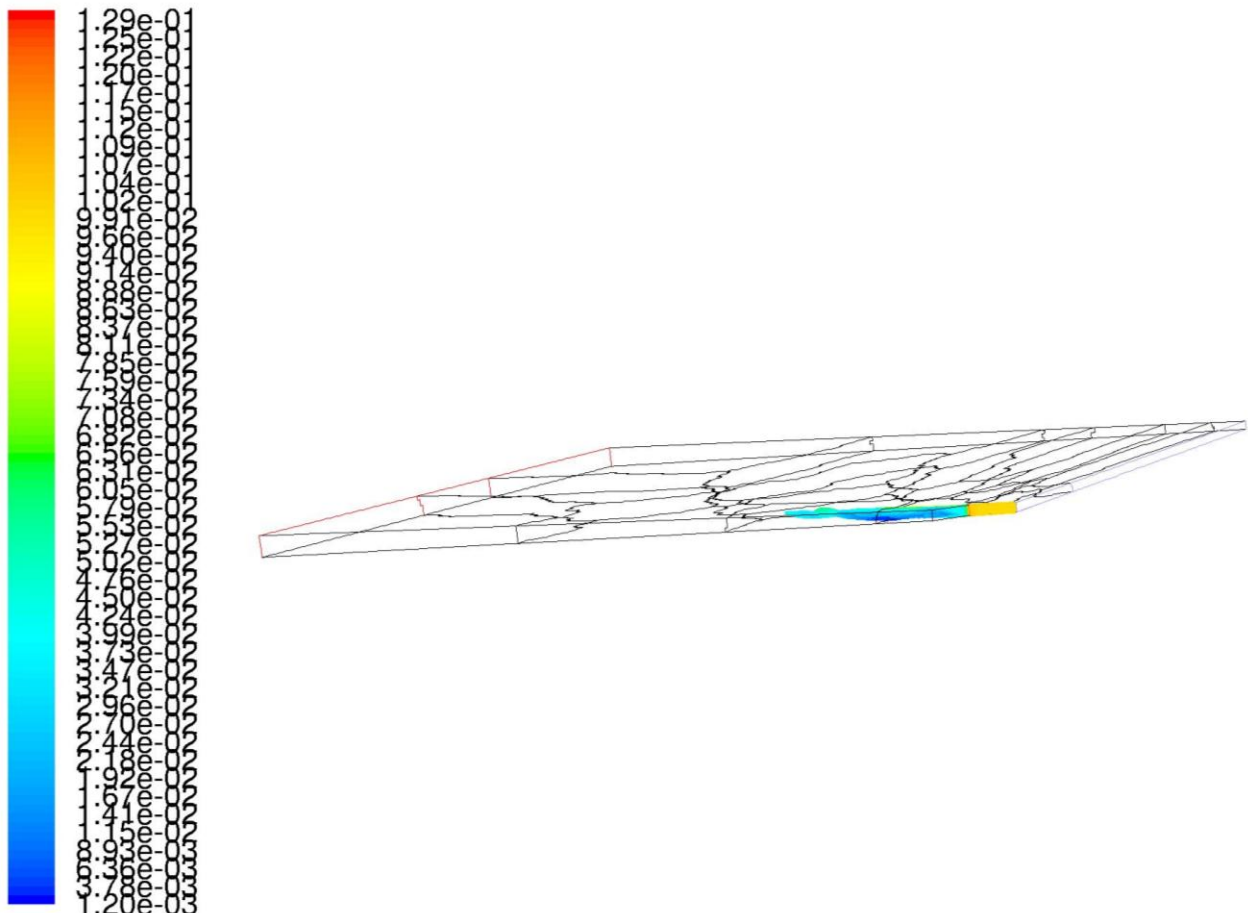
Inoltre, si è scelto di considerare la zona di immissione coincidente con l'intera superficie di uscita del porto, quindi le particelle vengono iniettate con distribuzione uniforme su tale superficie rispetto alla profondità. Poiché la deposizione dipende essenzialmente dall'effetto della forza peso, l'altezza iniziale è un dato che influenza sensibilmente la distanza percorsa prima della deposizione; la distribuzione scelta è ancora una volta un parametro favorevole al trasporto e alla distanza massima percorsa.

## 7. RISULTATI DELLE SIMULAZIONI CON MESH RADA

La simulazione con *mesh rada* è stata effettuata sfruttando la parallelizzazione del calcolo su 16 core. Dalle immagini di seguito riportate si evince che dopo 2.100 s di simulazione le particelle percorrono una distanza massima lungo l'asse x (direzione della corrente fluida) di circa 155 m, arrivando ad una velocità in corrispondenza della posizione di massima distanza pari a circa 7 cm/s e ad una distanza dal fondo pari a 1 m.

**Tale risultato, insieme con la valutazione delle traiettorie, può ragionevolmente far prevedere che la deposizione delle particelle avvenga ad una distanza massima ampiamente inferiore ai 300 m, per cui il deposito dei sedimenti non avviene nell'area interessata dal posidonieto.**

Di seguito sono riportate le immagini della simulazione all'istante temporale  $t = 2.175$  s.



**FIGURA 21** VISTA ASSONOMETRICA DEL TRASPORTO DEI SEDIMENTI, COLORATA SECONDO LA VELOCITÀ LUNGO L'ASSE X

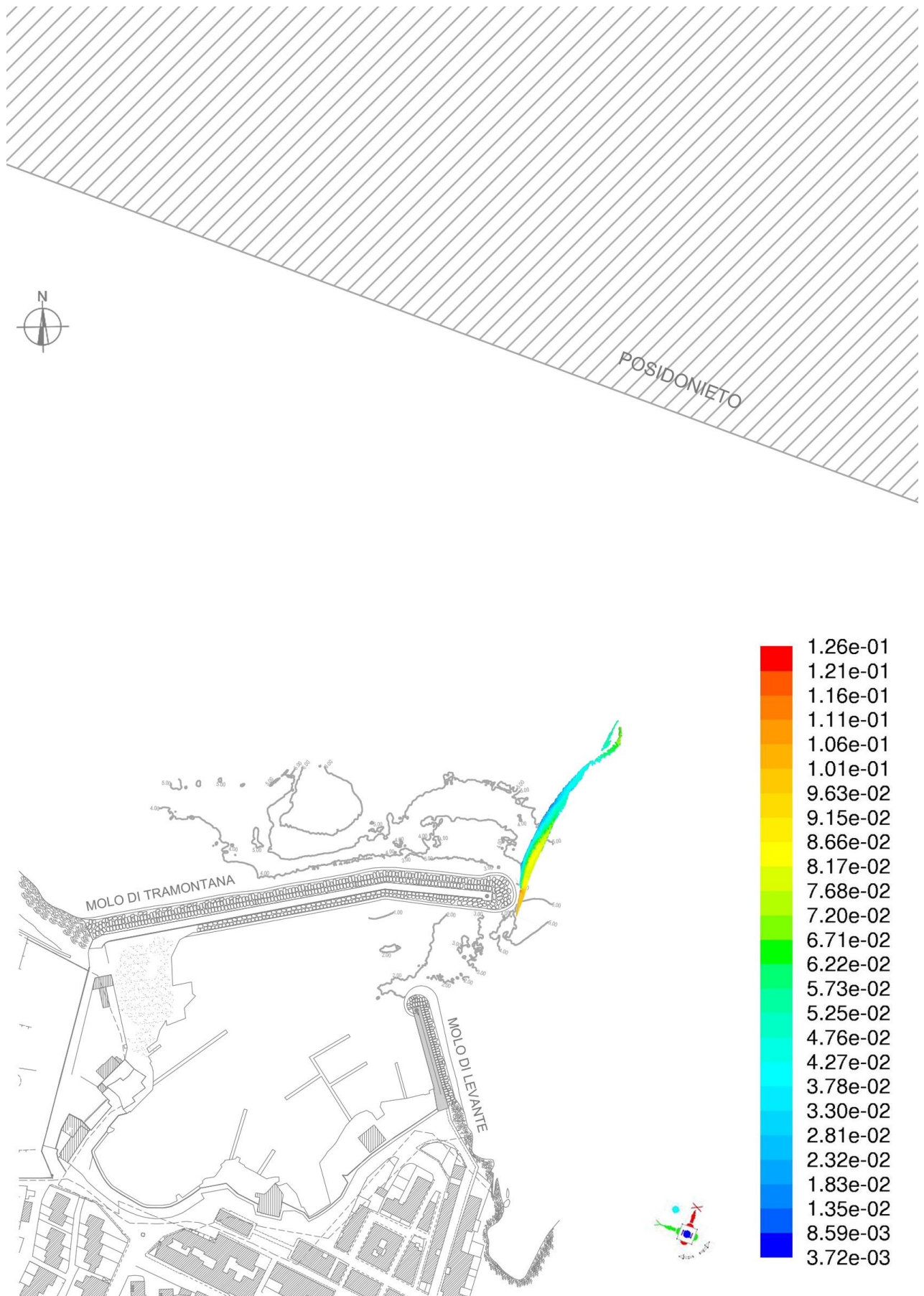
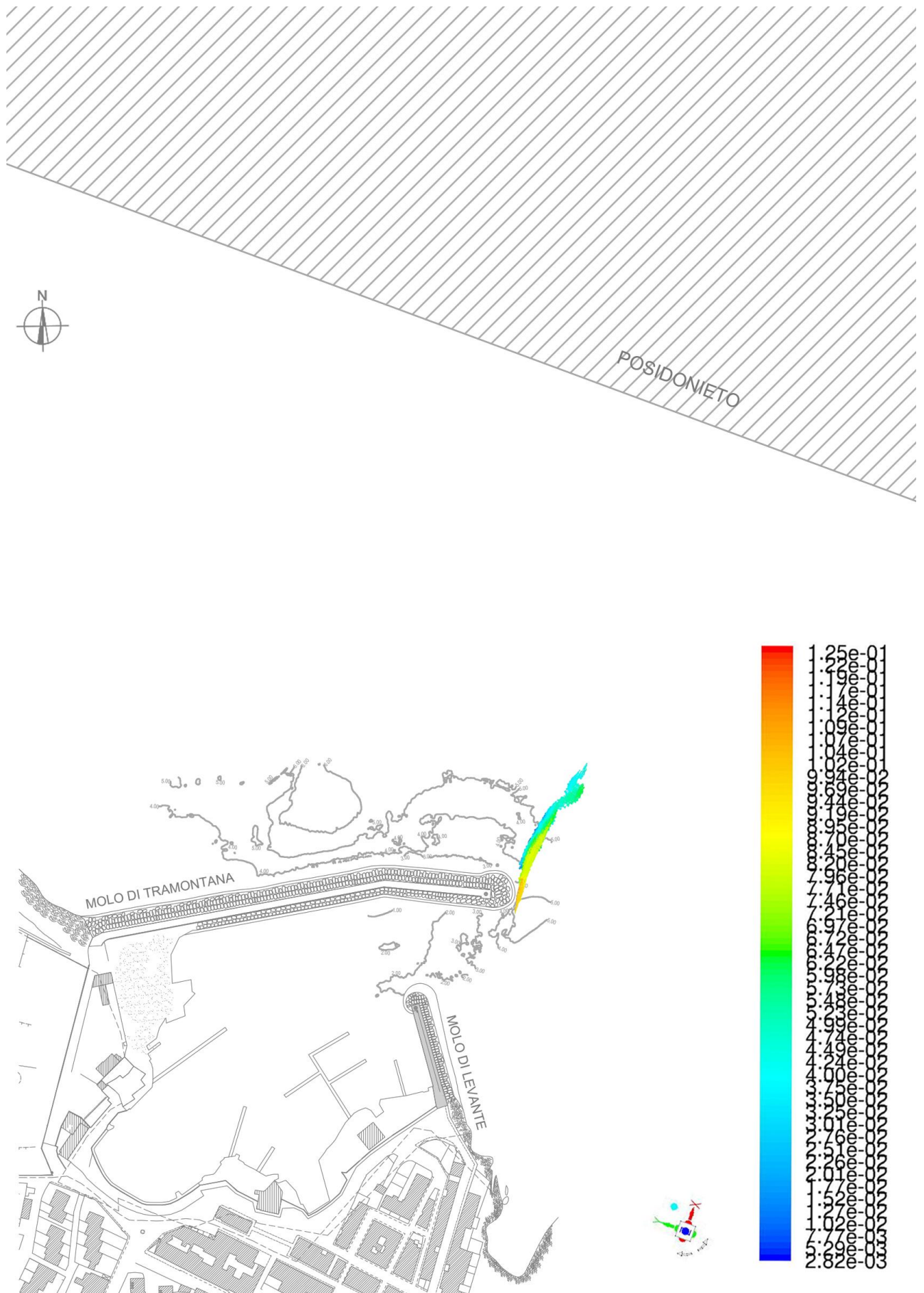


FIGURA 22 VISTA DALL'ALTO DELLA DIFFUSIONE DEI SEDIMENTI, COLORATA SECONDO LA VELOCITÀ LUNGO L'ASSE X. TEMPO DI INIEZIONE T=2175 S



**FIGURA 23** VISTA DALL'ALTO DELLA DIFFUSIONE DEI SEDIMENTI, COLORATA SECONDO LA VELOCITÀ LUNGO L'ASSE X. TEMPO DI INIEZIONE T=4100 s

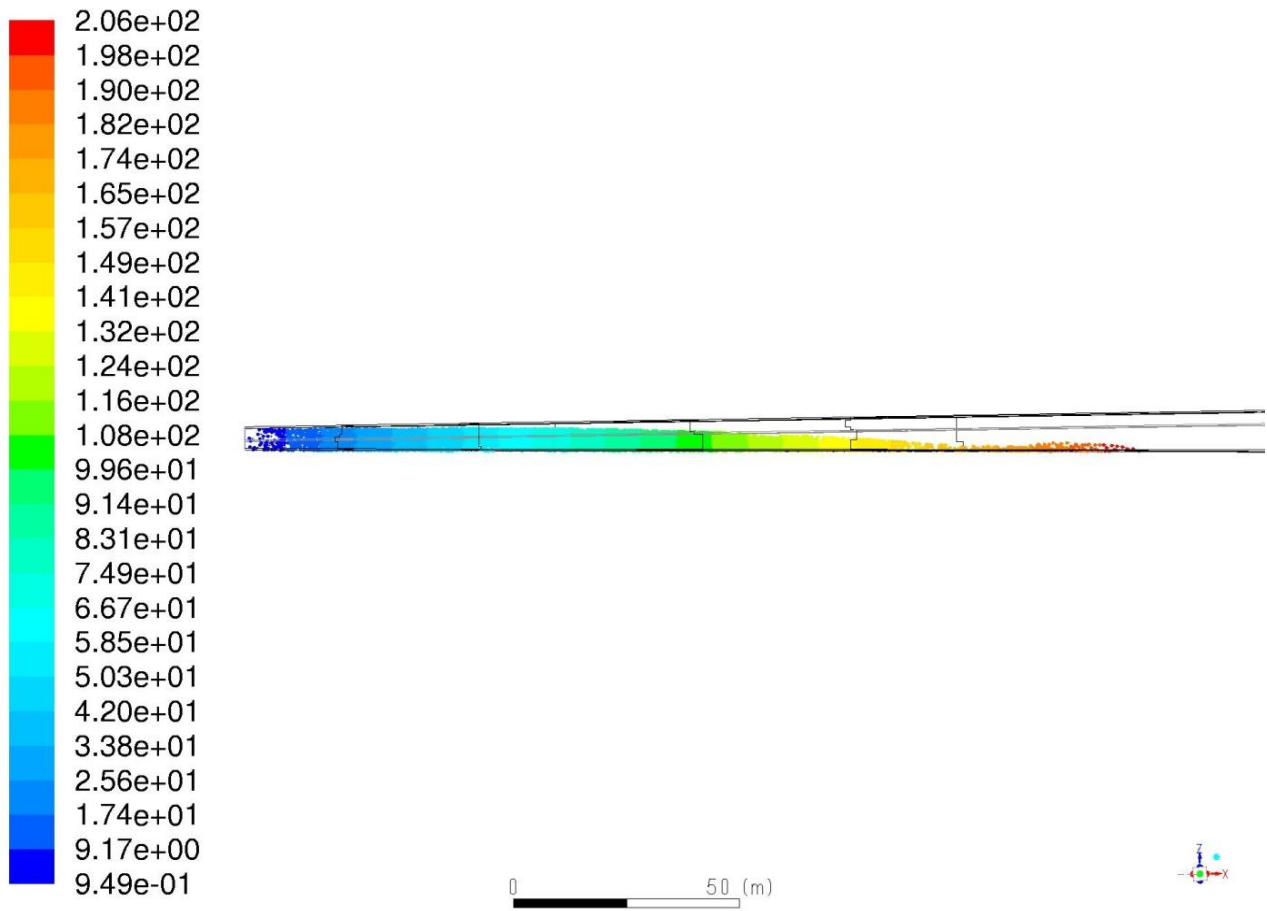


FIGURA 24 AVANZAMENTO DELLE PARTICELLE, COLORATE SECONDO LA DISTANZA LUNGO L'ASSE X

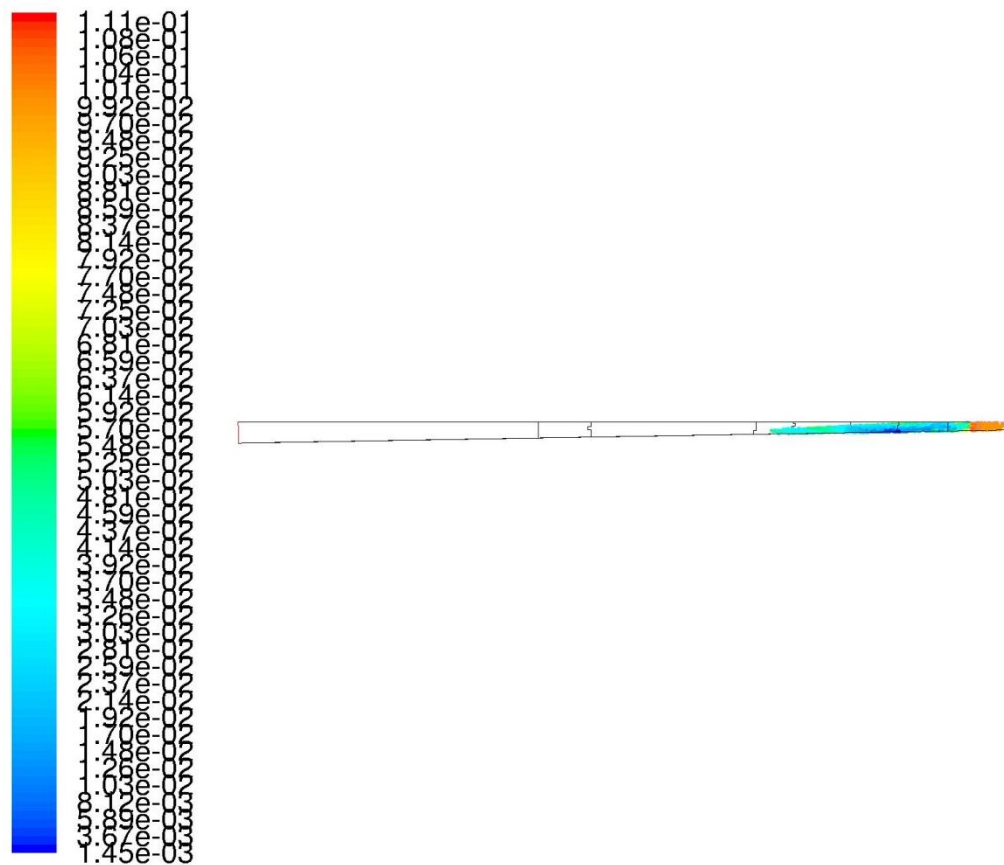
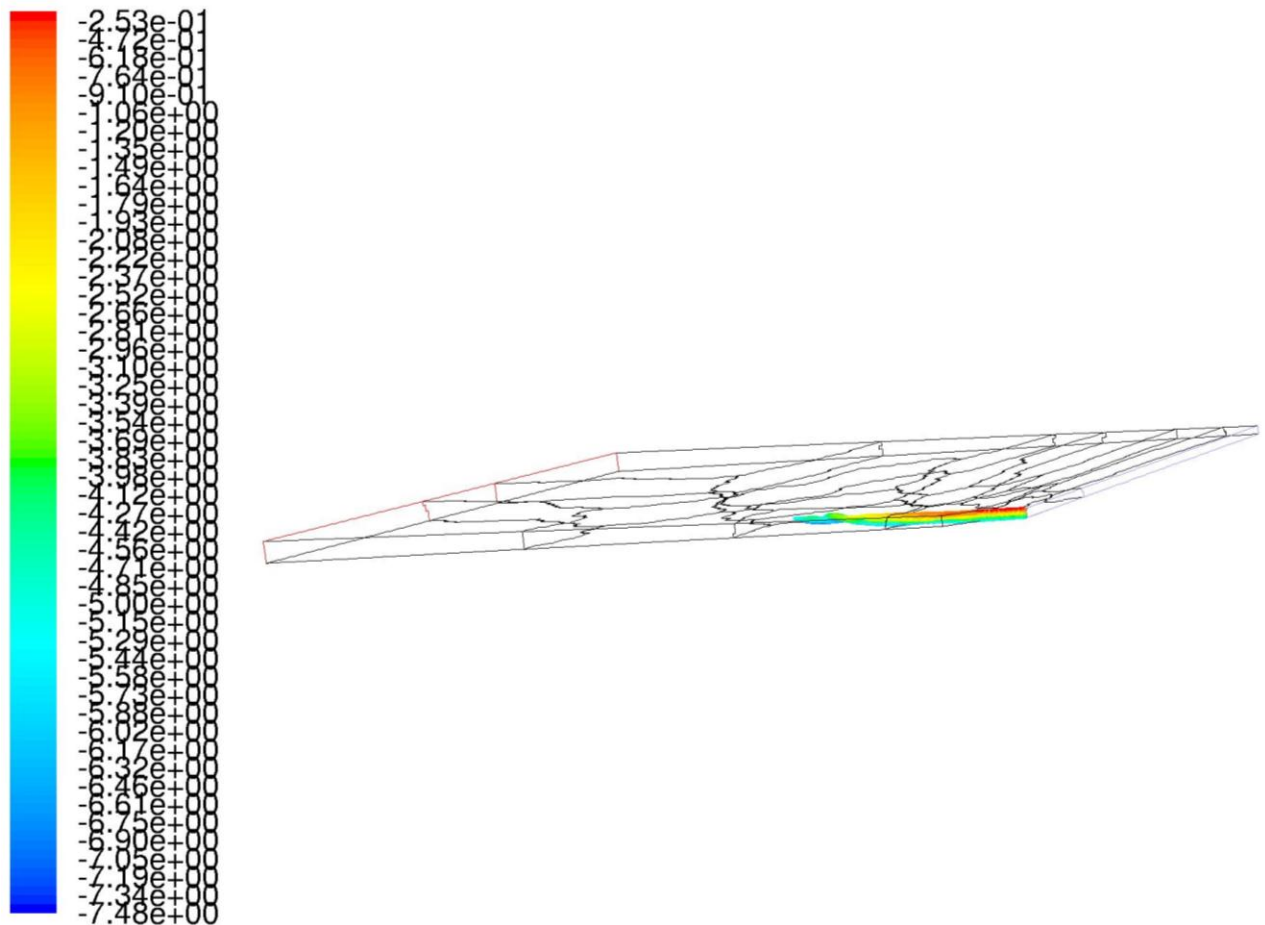
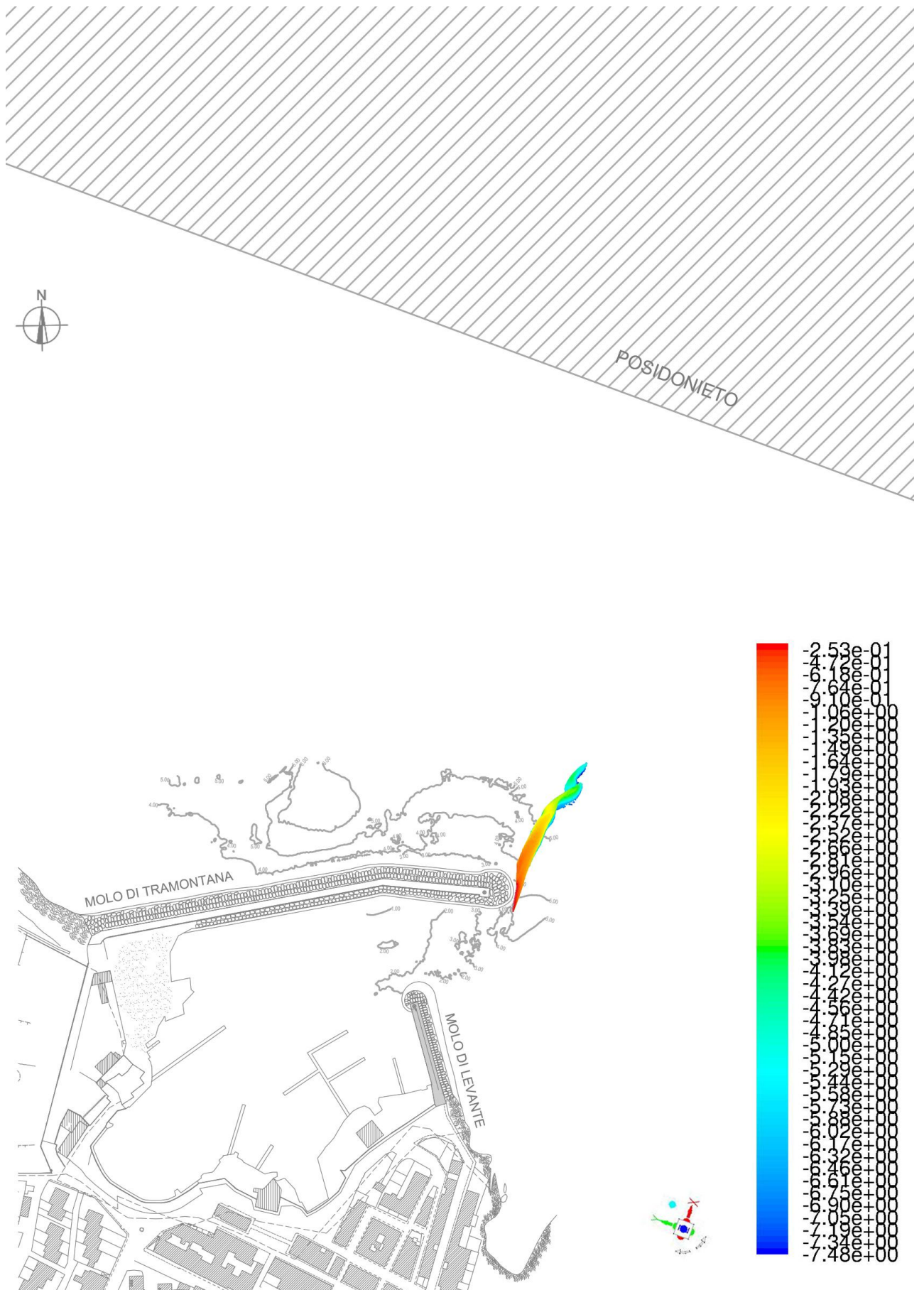


FIGURA 25 AVANZAMENTO DELLE PARTICELLE, COLORATE SECONDO LA VELOCITÀ LUNGO L'ASSE X



**FIGURA 26** VISTA ASSONOMETRICA DEL TRASPORTO DEI SEDIMENTI, COLORATO SECONDO LA DISTANZA DAL FONDALE



**FIGURA 27** VISTA DALL'ALTO DEL TRASPORTO DEI SEDIMENTI, COLORATI SECONDO LA DISTANZA DAL FONDALE



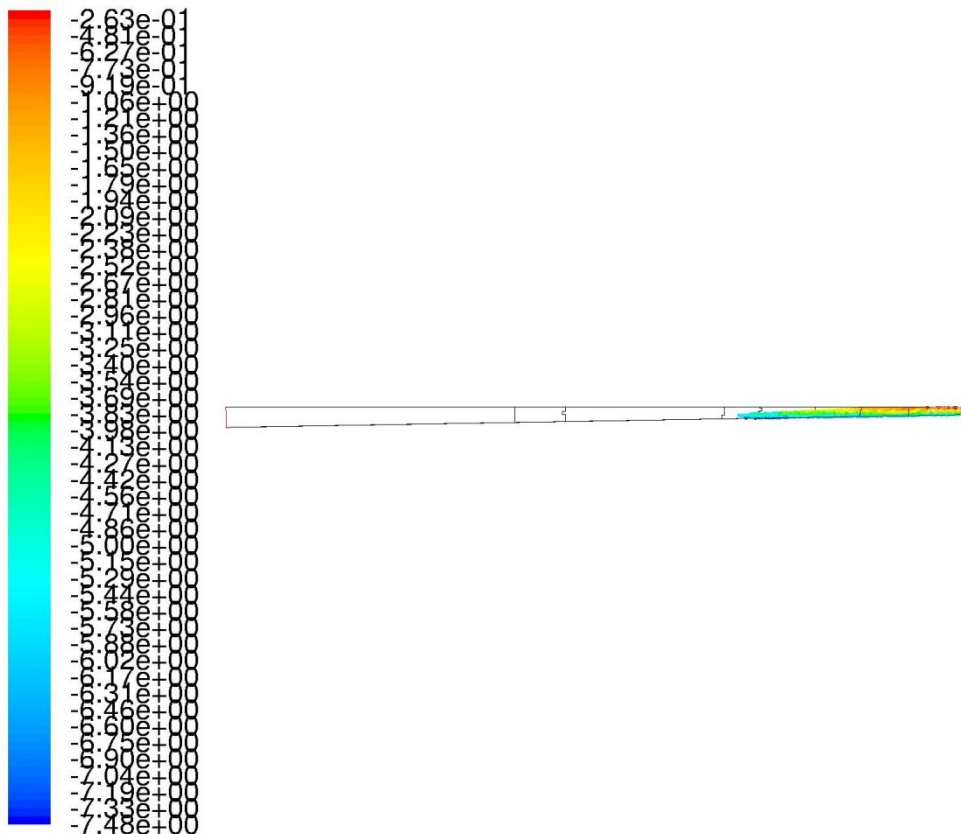


FIGURA 28 VISTA NEL PIANO XZ DEL TRASPORTO DEI SEDIMENTI

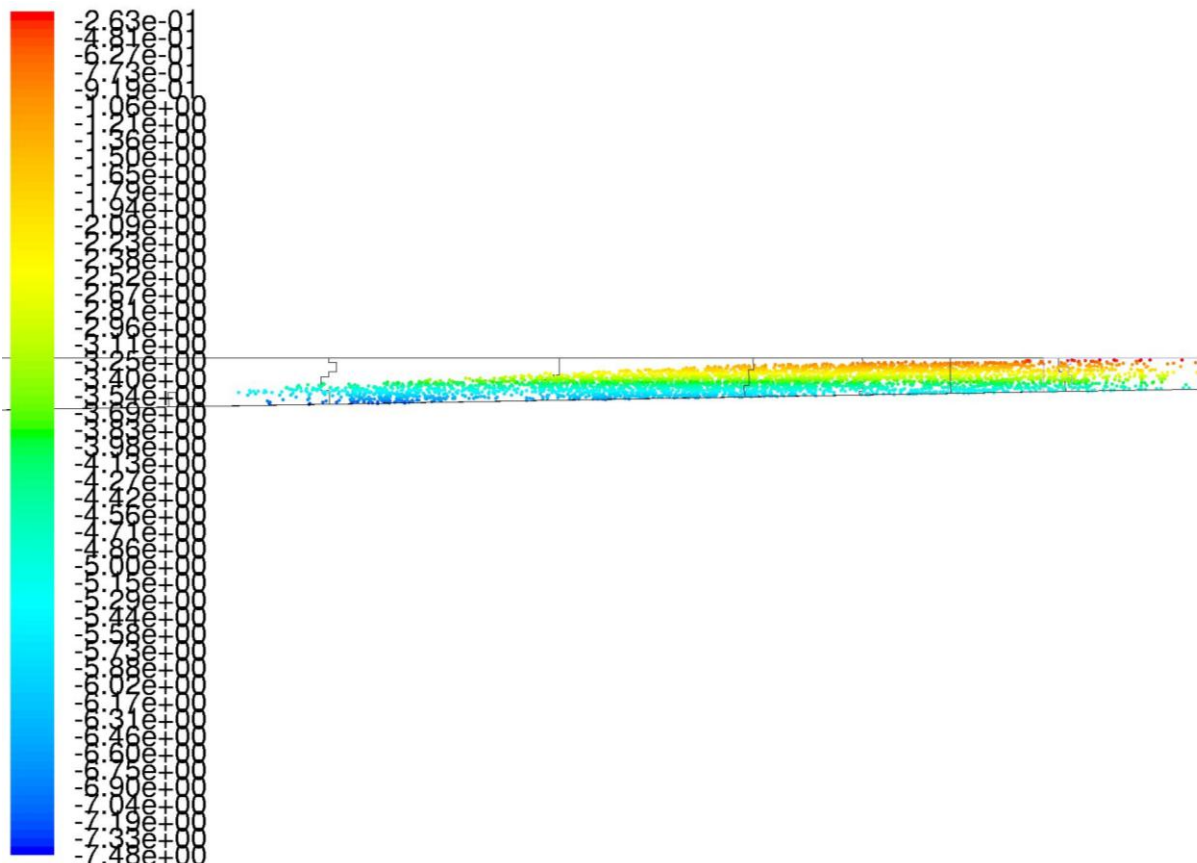
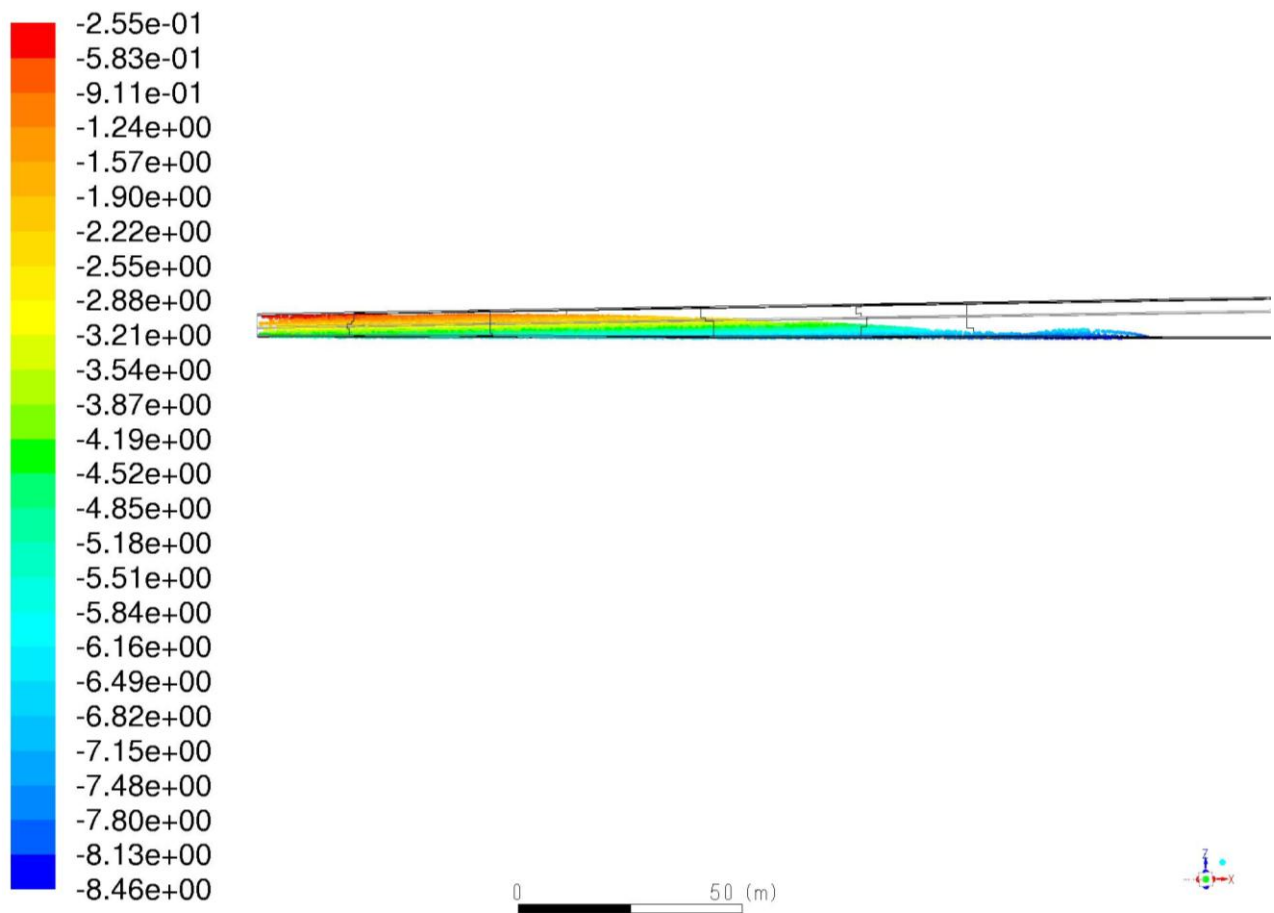


FIGURA 29 DETTAGLIO 1 VISTA NEL PIANO XZ DEL TRASPORTO DEI SEDIMENTI



**FIGURA 30** DETTAGLIO 2 VISTA NEL PIANO XZ DEL TRASPORTO DEI SEDIMENTI

## 8. CONCLUSIONI

Dai risultati ottenuti mediante le simulazioni del campo fluido descritte nei paragrafi precedenti si evince che la deposizione delle particelle in sospensione avvenga ad una distanza massima ampiamente inferiore ai 300 m, per cui il deposito dei sedimenti non avviene nell'area interessata dal posidonieto.

Questa previsione è adeguatamente cautelativa in quanto sono state considerate:

- portate di sedimento di materiale solido che fuoriescono dal porto nettamente superiori alla reale quantità di uscita;
- intensità e direzione della corrente marina estremamente sfavorevole, in quanto diretta verso il posidonieto con valori superiori a quelli riscontrati nello studio meteomarinario.

In ogni caso, a vantaggio di sicurezza:

- saranno installate delle sonde multiparametriche che monitoreranno in continuo le condizioni meteomarine, per cui qualora si dovessero registrare dati superiori rispetto a quelli ipotizzati nel presente studio, l'impresa provvederà immediatamente a sospendere le attività di dragaggio fino a quando tali dati rientreranno nei valori previsti;
- nel corso delle attività si procederà alla verifica dell'eventuale presenza di lacerazioni, tagli, fori o altri problemi che possano compromettere l'efficacia delle barriere anti-torbidità, al fine di evitare che ci possano essere dispersioni superiori verso l'esterno rispetto a quelle ipotizzate. In ogni caso, qualora si rilevasse il manifestarsi di una situazione critica, l'impresa procederà alla sospensione dei lavori e alla riparazione degli eventuali danni.

In ogni caso attraverso le attività di monitoraggio meglio descritte nella *“Proposta Preliminare per la stesura del Piano di Monitoraggio Ambientale, ai sensi del D.M. n.173/2016”* sarà continuamente controllato che la dispersione del materiale solido non raggiunga in alcun modo l'area interessata dal posidonieto.