

Committente 	Progettista 	COMMESSA GC/R2004	UNITA' 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente 100-ZA-E-10026	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 1 di 39	Rev. 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-009

TERMINALE DI PORTOVESME

Idrodinamica e sedimentazione del canale di accesso e delle aree portuali



Rev.	Descrizione	Elaborato	Verificato	Approvato Autorizzato	Data
01	EMISSIONE PER ENTI	P. DE GIROLAMO	G.SAGARIA	G. MONTI	15-11-21
00	EMISSIONE PER COMMENTI	P. DE GIROLAMO	G.SAGARIA	G. MONTI	18-10-21

Committente 	Progettista 	COMMESSA GC/R2004	UNITA' 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente 100-ZA-E-10026	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 2 di 39	Rev. 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-009

INDICE

1.	INTRODUZIONE	3
2.	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DI PORTOVESME	4
3.	OBIETTIVI E METODOLOGIA DI LAVORO	5
4.	CARATTERIZZAZIONE DEI SEDIMENTI SUPERFICIALI NELL'AREA PORTUALE	8
5.	DEFINIZIONE DELLE CONDIZIONI AL CONTORNO (scenari meteomarini)	12
5.1.	Marea Astronomica	12
5.2.	Vento e condizioni di moto ondoso	12
6.	STUDIO NUMERICO DEL TRASPORTO DEI SEDIMENTI ALL'INTERNO DELL' AREA PORTUALE	14
6.1.	Descrizione metodologia e modelli di calcolo DELFT3D-FM FLOW e WAVES	14
6.2.	Risultati dei campi idrodinamici e del trasporto dei sedimenti per condizioni di vento e moto ondoso annuali	18
6.2.1.	Risultati per lo Scenario 1	19
6.2.2.	Risultati per lo Scenario 2	25
6.2.3.	Risultati per lo Scenario 3	29
6.1.	Risultati dei campi idrodinamici e del trasporto dei sedimenti per Tr= 2 anni	33
7.	RISULTATI CONCLUSIVI E SINTESI	37

Committente 	Progettista 	COMMESSA GC/R2004	UNITA' 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente 100-ZA-E-10026	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 3 di 39	Rev. 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-009

1. INTRODUZIONE E SCOPO DEL LAVORO

La Società Snam Rete Gas ("SRG"), società soggetta all'attività di direzione e coordinamento di Snam S.p.A ("Snam"), una delle principali società di infrastrutture energetiche e principale TSO (Transport System Operator - gestore del sistema di trasporto gas) in ambito europeo, intende allestire nel porto di Portovesme un terminale di rigassificazione per consentire su un mezzo navale permanentemente ormeggiato:

- lo stoccaggio e la vaporizzazione di gas naturale liquefatto (GNL) per il suo trasferimento nella rete di trasporto di gas naturale a terra che sarà realizzata da Enura SpA, Società soggetta all'attività di direzione e coordinamento di Snam;
- Servizi di Small Scale LNG attraverso:
 - La distribuzione di GNL tramite autocisterne (truck loading);
 - La distribuzione di GNL con apposite navi metaniere "bunkering vessels".

In particolare, il Terminale sarà costituito da una unità navale di stoccaggio e rigassificazione flottante (FSRU, Floating Storage Regasification Unit) con una capacità di stoccaggio di circa 130.000 m³ di GNL e una capacità di rigassificazione massima di circa 330.000 Sm³/h. La FSRU sarà permanentemente ormeggiata lungo la banchina Est del porto di Portovesme (SU).

Il progetto è parte integrante del più ampio progetto di "Collegamento Virtuale" (Virtual Pipeline) per l'approvvigionamento di gas naturale alla Sardegna, che Snam, in qualità di principale operatore di trasporto e dispacciamento di gas naturale sul territorio nazionale, intende realizzare, anche attraverso le sue controllate e partecipate come Snam Rete Gas ed Enura, in coerenza con la legge del 11 settembre 2020, n. 120 «Misure urgenti per la semplificazione e l'innovazione digitali» (c.d. Decreto Semplificazioni).

Il presente rapporto descrive lo studio eseguito sull'idrodinamica e sedimentazione del canale di accesso e delle aree portuali del Porto Commerciale di Portovesme (frazione di Portoscuso, provincia di Sud Sardegna) che è stato redatto a supporto del progetto che prevede l'installazione nel porto di una nave gasiera opportunamente modificata (FSRU) per consentire lo stoccaggio e la vaporizzazione di GN liquido (GNL) proveniente principalmente dal sito SNAM di Panigaglia (SP).

Lo studio è stato eseguito dal Prof. Ing. Paolo De Girolamo che si è avvalso della collaborazione del Dott. Ing. Myrta Castellino e del Dott. Ing. Gioele Ruffini, entrambi PhD e specialisti nel campo dell'idraulica marittima.

Committente 	Progettista 	COMMESSA GC/R2004	UNITA' 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente 100-ZA-E-10026	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 4 di 39	Rev. 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-009

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DI PORTOVESME

Con riferimento alla Figura 2-1, Portovesme è localizzato sulla costa Sud-occidentale della Sardegna e si affaccia sulla porzione di mare protetta dalle Isole di S. Pietro e di S. Antioco la quale è caratterizzata da bassi fondali e da secche rocciose anche affioranti dal livello del mare. L'accesso al porto è garantito da un canale dragato, segnalato da mede, orientato lungo la direzione Ovest-Nord-Ovest. Si prevede di ormeggiare la FSRU lungo la banchina Est del Porto.

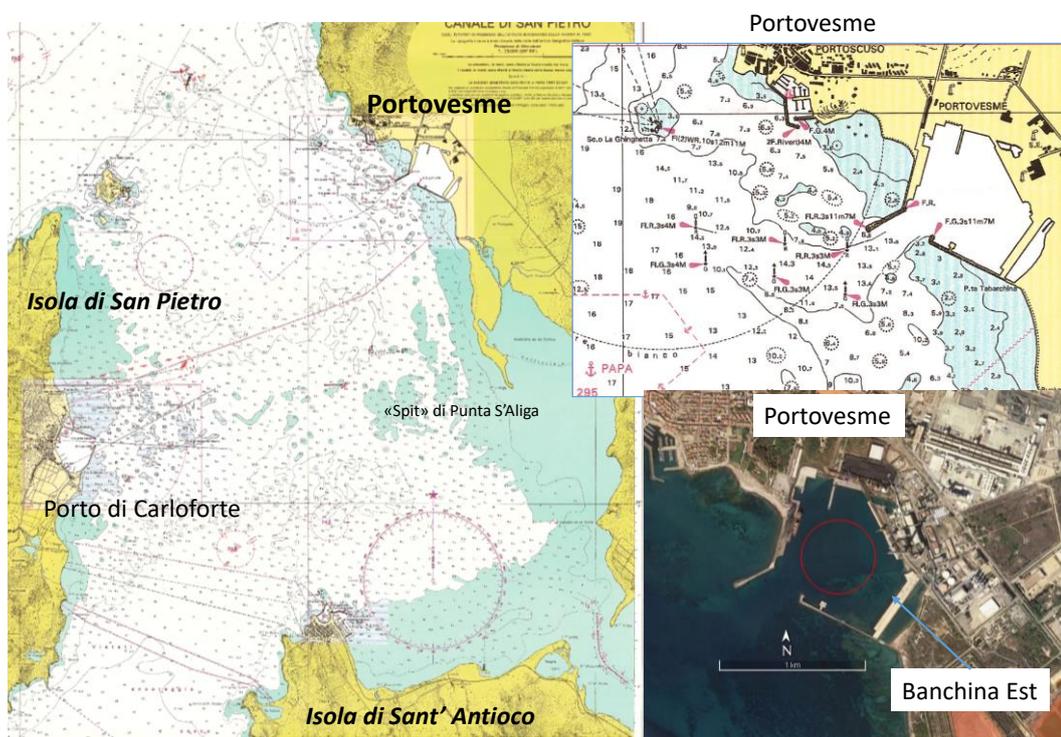


Figura 2-1 - Localizzazione geografica di Portovesme e della banchina Est dove si prevede di ormeggiare la FSRU.

Committente 	Progettista 	COMMESSA GC/R2004	UNITA' 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente 100-ZA-E-10026	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 5 di 39	Rev. 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-009

3. OBIETTIVI E METODOLOGIA DI LAVORO

Nella Figura 3-1 è riportata la batimetria di Portovesme ed è evidenziata, delimitata con la linea rossa, l'area che verrà dragata alla quota -11.50 m sul l.m.m. per consentire l'ormeggio della FSRU alla banchina Est del porto e le operazioni di carico e scarico via mare della stessa FSRU.

Attualmente i fondali nella zona prospiciente la banchina EST e lungo il lato interno della diga foranea Sud sono solo nell'ordine di pochi metri. I fondali indicati nella Figura 3-1 sono quelli che si verranno a creare a seguito del dragaggio.

Il dragaggio dell'area delimitata con la linea rossa nella Figura 3-1 rientra nell'ambito dell'appalto bandito dal Consorzio SiCiP (Consorzio Industriale Sulcis Iglesiente) dal titolo:

“Appalto per la progettazione esecutiva, previa acquisizione del progetto definitivo in sede di gara, e l'esecuzione dei lavori di bonifica del bacino portuale e dragaggio dei fondali antistanti la banchina est nel porto industriale di Portovesme - 1° lotto”

L'obiettivo del presente lavoro è stato quello di definire i possibili volumi di interrimento a cui potrà essere soggetto Portovesme durante l'esercizio della FSRU che avrà una durata di circa 25 anni.

In particolare l'attenzione è stata rivolta alle due zone del porto che potrebbero risultare potenzialmente più vulnerabili rispetto ai fenomeni di interrimento, ovvero al canale di accesso e all'area che verrà dragata.

Per condurre lo studio si è proceduto come di seguito descritto.

In primo luogo si sono definite le caratteristiche granulometriche dei sedimenti superficiali potenzialmente oggetto dei fenomeni di trasporto solido. A tal fine si sono utilizzate le informazioni disponibili provenienti:

- dal progetto esecutivo della Banchina Est, redatto nel 1999;
- dall'Appalto SiCiP del 1° lotto.

Si osserva che le caratteristiche dei sedimenti riportate nei documenti di progetto sopra indicati, riguardano però solo la zona in cui è collocata la banchina Est e la zona oggetto del dragaggio. Pertanto si è assunto che tali caratteristiche possano essere estese anche alla zona non oggetto del dragaggio. Questa assunzione risulta giustificata dal fatto che il materiale superficiale presente nel porto risulta dal punto di vista granulometrico abbastanza omogeneo.

In secondo luogo si sono definiti gli scenari meteomarini di riferimento (moto ondoso, vento e livelli idrici) da utilizzare per i calcoli del trasporto solido. Tali scenari sono stati in una prima fase scelti in modo tale da rispondere al doppio requisito:

- (i) di determinare condizioni idrauliche sufficienti per mettere in movimento i sedimenti di fondo;

Committente 	Progettista 	COMMESSA GC/R2004	UNITA' 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente 100-ZA-E-10026	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 6 di 39	Rev. 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-009

- (ii) di risultare sufficientemente frequenti dal punto di vista statistico per dar luogo ad un trasporto solido complessivo rappresentativo per il sito in esame.

Si osserva che in generale aumentando l'intensità dei parametri meteomarini si riduce la loro frequenza di accadimento, per cui i due requisiti sopra esposti sono fra loro antitetici.

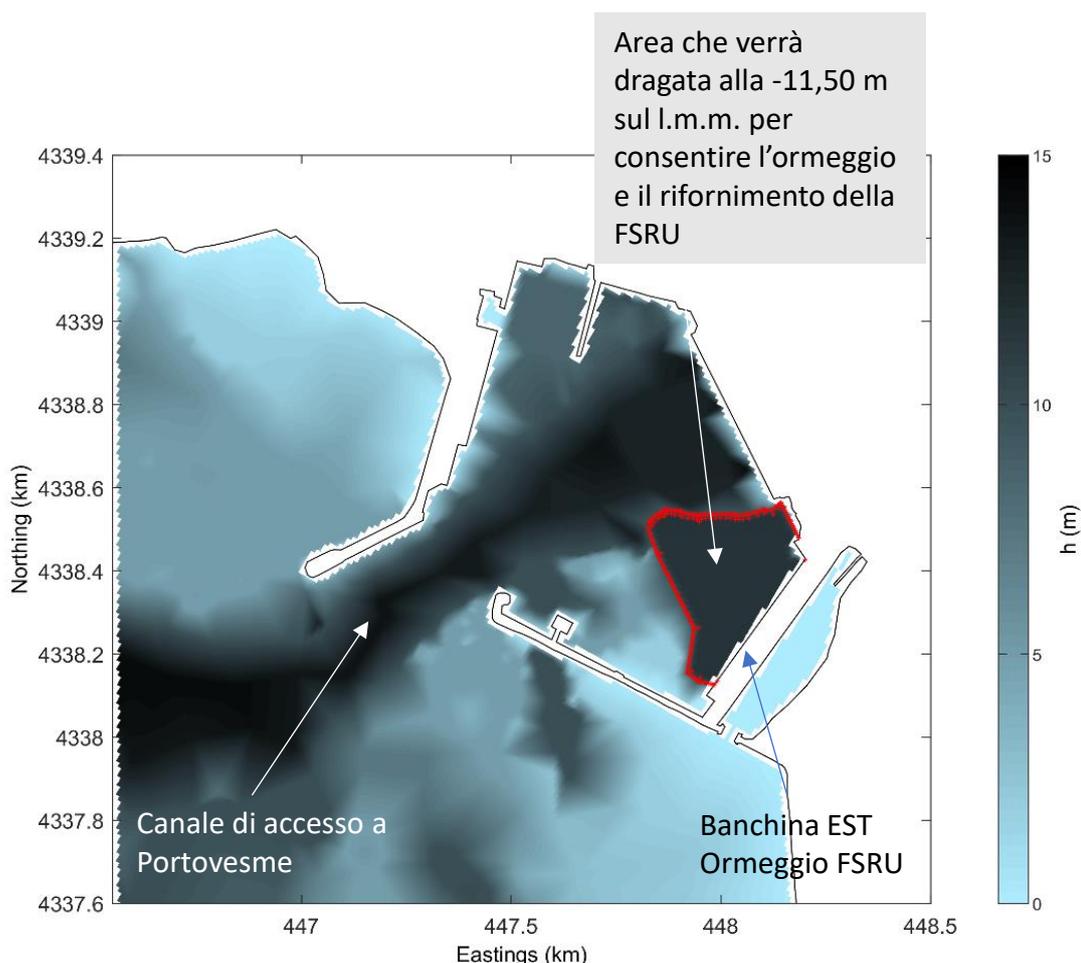


Figura 3-1 - Portovesme: planimetria del porto e batimetrie.

Sulla base dei requisiti sopra esposti si è deciso di applicare l'approccio consueto che si utilizza in situazioni simili, ovvero di esaminare condizioni meteomarine medie annuali, le quali si verificano numerose volte durante l'anno medio statistico. In particolare sono stati scelti tre scenari caratterizzati da intensità di moto ondoso e vento crescenti.

Per ogni scenario è stato quindi calcolato il campo idrodinamico nell'area di studio sulla base del quale si è calcolato il trasporto solido e quindi le variazioni di fondale.

Poiché i risultati dello studio hanno mostrato che con condizioni di moto ondoso frequenti non si ottengono sensibili valori di interrimento delle aree in analisi, si è

Committente 	Progettista 	COMMESSA GC/R2004	UNITA' 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente 100-ZA-E-10026	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 7 di 39	Rev. 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-009

deciso di prendere in esame condizioni idrodinamiche di maggiore intensità, ma più rare, fissando l'attenzione a condizioni con tempo di ritorno di 2 anni, ovvero che pur essendo estreme, hanno un'alta probabilità di potersi verificare più volte durante la vita economica dell'infrastruttura in analisi.

Le simulazioni condotte per quest'ultimo scenario hanno confermato che i fenomeni di interrimento lungo il canale di accesso e all'interno del porto sono del tutto trascurabili ai fini della manutenzione ordinaria dei fondali nel canale di accesso e nell'area di ormeggio della FSRU.

Committente 	Progettista 	COMMESSA GC/R2004	UNITA' 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente 100-ZA-E-10026	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 8 di 39	Rev. 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-009

4. CARATTERIZZAZIONE DEI SEDIMENTI SUPERFICIALI NELL'AREA PORTUALE

Come accennato nel capitolo precedente, per caratterizzare dal punto di vista granulometrico il materiale superficiale potenzialmente soggetto a fenomeni di trasporto solido indotto dal moto ondoso e dall'idrodinamica causata dalla marea e dal vento, si sono utilizzati i dati disponibili provenienti dalle attività di caratterizzazione eseguite per la zona in cui è stata realizzata la banchina Est e per l'area oggetto del dragaggio del 1° lotto.

In particolare si è fatto riferimento ai seguenti documenti:

1. Banchina Lato EST del porto industriale di Portovesme Progetto Esecutivo 1° Lotto. Elaborato: Relazione Geotecnica;
2. Appalto per la progettazione esecutiva, previa acquisizione del progetto definitivo in sede di gara, e l'esecuzione dei lavori di bonifica del bacino portuale e dragaggio dei fondali antistanti la banchina est nel porto industriale di Portovesme - 1° lotto. Elaborato: 1 Relazione Generale (1_PCI002PD01D019334R01);
3. Appalto per la progettazione esecutiva, previa acquisizione del progetto definitivo in sede di gara, e l'esecuzione dei lavori di bonifica del bacino portuale e dragaggio dei fondali antistanti la banchina est nel porto industriale di Portovesme - 1° lotto. Elaborato: 2.7 Relazione Geotecnica (2.7_PCI002PD01D019341R01);
4. Appalto per la progettazione esecutiva, previa acquisizione del progetto definitivo in sede di gara, e l'esecuzione dei lavori di bonifica del bacino portuale e dragaggio dei fondali antistanti la banchina est nel porto industriale di Portovesme - 1° lotto. Elaborato: 2.13 Relazione sulle opere di dragaggio (2.13_PCI002PD01D019344R01).

I documenti sopra elencati vengono di seguito indicati con il numero corrispondente.

Dal documento 1, che riguarda la zona in cui è stata realizzata la banchina Est, si desume che la stessa area prima della realizzazione della banchina era caratterizzata dal punto di vista granulometrico dalla seguente stratigrafia:

- fino a -10 m sul l.m.m.: da sabbie fini di colore scuro, con paglia marina, da molto sciolte a sciolte, passanti a sabbie fini limose, mediamente dense;
- da -10 a -25 m sul l.m.m.: da sabbie fini e medie limose di colore grigio/beige, localmente con tritume conchigliare, dense, con ciottoli $\phi = 3\text{cm}$ nei 2-4m inferiori.

Dal documento 2 si desume quanto segue.

L'analisi stratigrafica, compiuta attraverso la realizzazione di carote definite nel documento con il codice BE (antistanti Banchina Est), evidenzia che la granulometria dei sedimenti da trattare nel lotto 1° è piuttosto variabile in percentuale, con frazione pelitica (limi e argille) che varia tra il 29,6% ed il 4,1%, e con presenza prevalente delle sabbie, che rappresentano mediamente il 75% - 80% del materiale.

Inoltre, nell'ambito della stessa relazione il materiale da dragare è stato diviso in classi di tossicità come mostrato nella seguente Tabella 4-1 (corrispondente alla Figura 4.4 nel documento 2). In particolare dalla Tabella 4-1, considerando la somma dei sedimenti tra tutte le varie classi di

Committente 	Progettista 	COMMESSA GC/R2004	UNITA' 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente 100-ZA-E-10026	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 9 di 39	Rev. 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-009

tossicità, si può dedurre che circa il 74.56% del sedimento da dragare sia composto da sabbie e circa il 16.11% da limi.

Tabella 4-1 - Volumi in banco stimati dalle prove di classificazione.

totale	524110 mc											
	A1	A2	A2*	B1	B2	B2*	B2**	C1	C2			
ghiaia	835	15262	419,31	110	471	957	60	0	28	mc	18142	3,46 %
sabbia	28817	262948	7953,84	1163	25932	35126	10771	6563	11477	mc	390752	74,56 %
limo	1555	54205	4219,33	597	3664	17703	2000	391	640	mc	84974	16,21 %
argilla	371	19727	511,04	63	755	8526	215	28	45	mc	30241	5,77 %
tot.mc	31578	352143	13104	1933	30822	62312	13046	6981	12190	mc	524110	
%	6,03	67,19	2,50	0,37	5,88	11,89	2,49	1,33	2,33			
	A1	A2	A2*	B1	B2	B2*	B2**	C1	C2		A2* = col.A < A2 < col.B	
%	%	%	%	%	%	%	%	%	%		B2 = B2 < tab.1 col.A	
ghiaia	2,64	4,33	3,20	5,68	1,53	1,54	0,46	0,00	0,23		B2* = col.A < B2 < col.B	
sabbia	91,26	74,67	60,70	60,18	84,13	56,37	82,56	94,01	94,15		B2**= B2 > col.B	
limo	4,92	15,39	32,20	30,90	11,89	28,41	15,33	5,59	5,25			
argilla	1,18	5,60	3,90	3,25	2,45	13,68	1,64	0,40	0,37			

Nella Tabella 4-2 tratta sempre dal documento 2, viene riportata la classificazione dei sedimenti in classi di tossicità alle varie profondità di escavo. Per quanto riguarda la variabilità delle caratteristiche granulometriche dei sedimenti con la profondità, si desume che nello strato superficiale i sedimenti sono costituiti prevalentemente da materiale ricadente nelle classi A2, B2, C1 e C2, le quali sono caratterizzate da percentuali sempre maggiori di sabbie e successivamente di limo.

Tabella 4-2 - Classificazione dei sedimenti alle profondità di escavo.

	BE1	BE2	BE3	BE4	BE5	BE6	BE7	BE8	BE9	BE10	BE11	BE12	BE13
0-0,5	B2	B2	B2	B2	C2	C2	A2	A2	B2	B2	B2	A2	B2
0,5-1	A2	B2	B2	B2	B2	C1	A2	A2	C2	B1	B2	A2	B2
1-1,5	A2	A2	A1	A2	A2	B2	B2	A2	A2	A2	B1	A2	A2
1,5-2	A1	A2	A1	A1	B2	A2	A2	A2	A2	A2	A2	A1	A2
2-3	A2	A2	A1	A2	B2	A2							
3-4	B2		A2	A2	B2	A2							
4-5	A2		A2	A2	B2	A2							
5-6	B2		A2	A2	A2	A2							
6-7	A2		A2	A2	A2	A2							
7-8	B2		A2	A2	A2	A2							
8-9	A2			A2									

Committente 	Progettista 	COMMESSA GC/R2004	UNITA' 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente 100-ZA-E-10026	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 10 di 39	Rev. 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-009

Come ulteriore caratterizzazione, nel documento 3 viene specificato chiaramente, in riferimento all'area di dragaggio del lotto I, che in corrispondenza dell'area portuale, sul fondo marino si rileva la presenza di sabbie limose e limi sabbiosi che si differenziano per granulometria, colorazione e contenuto in sostanza organica. Le sabbie sono definite come generalmente presenti in percentuali variabili (max. 70%) mentre il resto è costituito da argille e limi. In linea generale la porzione di sedimenti più superficiali (1-3 m) risulta costituita da sabbie di colore grigio mentre in profondità si rinvencono livelli lentiformi irregolari argillosi di spessore variabile (1-3 m). Ciò che emerge evidente dal punto di vista stratigrafico è la presenza di una alternanza di sabbie più o meno limose con livelli lenticolari di argille e limi.

Infine, nel documento 4 i materiali di dragaggio sono divisi di nuovo per granulometria e classi di tossicità separando i volumi che dovranno essere scavati con benna da quelli che dovranno essere scavati con draga idraulica aspirante - refluyente come mostrato in Tabella 4-3 (corrispondente alla Figura 4.7 nel documento 4). A riconferma delle informazioni precedenti il sedimento consiste principalmente di una frazione sabbiosa con percentuali che variano tra il 64% e il 90% e una frazione limosa compresa tra il 21% e l'8% con percentuali ancora inferiori di argilla con valori compresi tra 12.5% e 0.8% nell'area interessata allo studio in oggetto.

Tabella 4-3 - Quantità dei sedimenti da prevedersi per le lavorazioni previste.

		Vol in sito [m3]	Vol rigonfiato [m3]
ESCAVO CON BENNA [m3]		145,623.70	165,397.39
di cui			
SEDIMENTO RICONDUCEBILE A C1, C2, B2**		36,382.07	40,393.76
di cui	ghiaia	88.07	0.24%
	sabbia	32,767.26	90.06%
	limo	3,230.45	8.88%
	argilla	296.28	0.81%
	materiale sottoposto a Soil Washing [t]	54,573.11	
	sabbie-ghiaie destinate a Sa Piramide [m3]	32,855.33	
	fanghi non pericolosi [t]	5,427.16	
	fanghi pericolosi [t]	497.75	
SEDIMENTO RICONDUCEBILE A B1, B2, B2*		109,241.63	125,003.63
di cui	ghiaia	2,141.79	1.96%
	sabbia	70,198.69	64.26%
	limo	23,282.10	21.31%
	argilla	13,619.05	12.47%
	all'impianto di trattamento acque [m3]	47,192.38	
	fanghi non pericolosi [t]	1,651.73	
ESCAVO CON DRAGA ASPIRANTE-REFLUENTE RICONDUCEBILE A MATERIALE DI CLASSE A1, A2, A2*		378,486.03	423,854.66
di cui	ghiaia	15,912.47	
	sabbia	287,786.22	
	limo	58,461.85	
	argilla	16,325.49	

Committente 	Progettista 	COMMESSA GC/R2004	UNITA' 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente 100-ZA-E-10026	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 11 di 39	Rev. 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-009

Sulla base di queste informazioni e data la mancanza di una caratterizzazione granulometrica diretta del materiale superficiale escluso dalle attività di dragaggio il quale sarà potenzialmente soggetto maggiormente a fenomeni di trasporto solido, si è deciso di assumere:

- che il materiale superficiale all'esterno dell'area di dragaggio del lotto 1° sia dal punto di vista granulometrico simile a quello superficiale oggetto del dragaggio;
- che tale materiale sia costituito da sabbia limosa.

Pertanto per le simulazioni numeriche si è assunto che il sedimento superficiale all'interno del porto e lungo il canale di accesso sia costituito da materiale incoerente caratterizzato da un $D_{50} = 100$ micron (associabile ad una sabbia molto fine) con un fuso granulometrico con distribuzione log-normale a segmenti tale che $D_{90} = 1.5 D_{50}$ e $D_{10} = 0.75 D_{50}$.

Si ritiene che questi valori possano essere considerati appropriati anche in base alla letteratura specializzata e in particolare per l'applicazione del modello numerico Delft3D-FM, descritto nel seguito, per il quale si è applicata, per il calcolo del trasporto dei sedimenti, la formulazione di Soulsby/VanRijn (D-Morphology User Manual - Deltares).

Committente 	Progettista 	COMMESSA GC/R2004	UNITA' 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente 100-ZA-E-10026	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 12 di 39	Rev. 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-009

5. DEFINIZIONE DELLE CONDIZIONI AL CONTORNO (scenari meteomarini)

5.1. Marea Astronomica

Per definire le condizioni al contorno lungo i contorni “aperti” – verso il mare - del dominio di calcolo è stata imposta una marea astronomica sizigiale di media intensità idonea a produrre le massime escursioni di livello mensili e di conseguenza le massime correnti mensili.

Poiché a Portovesme non sono disponibili misure mareografiche, per definire il ciclo di marea da assumere nel calcolo si è fatto riferimento alla stazione mareografica di Carloforte gestita dall'ISPRA, posta a breve distanza da Portovesme.

Nella Figura 5-1 è riportato il ciclo di marea sizigiale medio a Carloforte con il periodo preso in esame per le simulazioni numeriche che va dalle ore 22:00 del 29 Gennaio alle ore 9:00 del 30 Gennaio terminando all'incirca nel punto di massima marea.

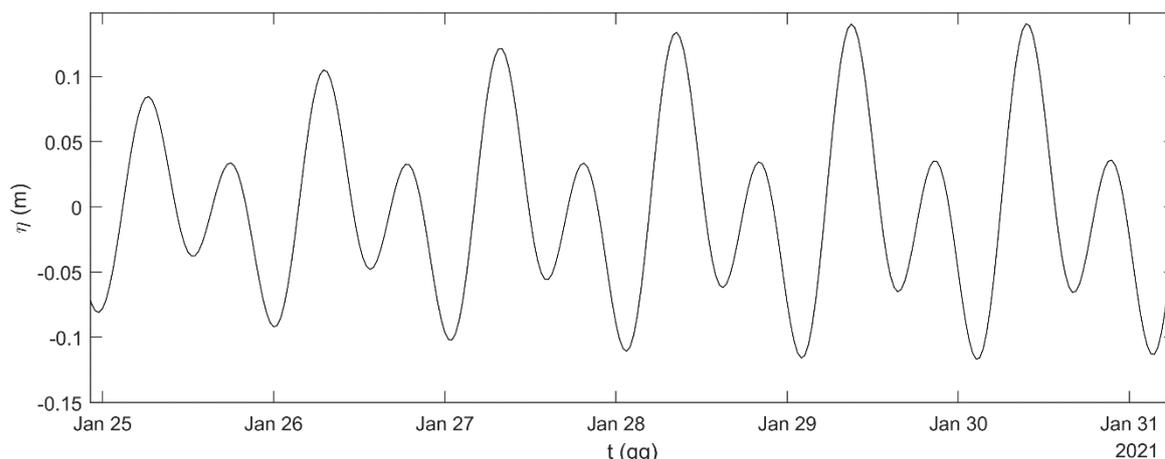


Figura 5-1 - Marea astronomica nel periodo di sizigia media che si è verificata nel Porto di Carloforte nel mese di gennaio 2021 e che è stata utilizzata per le simulazioni numeriche.

Stabilito il ciclo di marea da riprodurre a Carloforte, le condizioni al contorno in termini di variazioni di livello del mare sono state imposte lungo i contorni del modello numerico mediante il codice Open Earth Tool in modo tale da ottenere a Carloforte il ciclo di marea selezionato.

5.2. Vento e condizioni di moto ondoso

Per la definizione delle condizioni di vento e moto ondoso da utilizzare per forzare l'idrodinamica nell'area di interesse, si è fatto riferimento a condizioni meteomarine (vento e onde) frequenti durante l'anno medio statistico.

Sulla base degli studi già eseguiti e in particolare dello Studio Meteomarino, (vedi documento 100-ZA-E-10008 Studio Meteomarino) si sono selezionati i 3 scenari riportati nella Tabella 5-1 dove nella seconda colonna sono riportate le frequenze di superamento espresse in ore/anno degli stati di mare sintetizzati dai valori di altezza d'onda significativa H_s (terza colonna), periodo di picco spettrale T_p (quarta

Committente 	Progettista 	COMMESSA GC/R2004	UNITA' 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente 100-ZA-E-10026	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 13 di 39	Rev. 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-009

colonna) e direzione di provenienza (sesta colonna). Le condizioni di moto ondoso riportate in tabella si riferiscono a condizioni a largo. La quinta colonna della tabella riporta la velocità del vento (espressa in nodi) da associare alle condizioni di moto ondoso a largo.

Per quanto riguarda la direzione di provenienza del moto ondoso, e quindi del vento, si è assunta la direzione 300° N per tutti gli stati di mare poiché le analisi già eseguite per lo studio di agitazione interna portuale (vedi studio: 100-ZA-E-10017 Studio agitazione interna Rev.00) hanno mostrato che a Portovesme le condizioni più gravose in termini di agitazione interna portuale si verificano proprio per gli stati di mare provenienti a largo dalla direzione 300° N e di conseguenza è lecito aspettarsi che gli stessi stati di mare siano maggiormente in grado, rispetto agli altri possibili, di dar luogo al trasporto solido dei sedimenti nel canale di accesso e all'interno del porto.

Tabella 5-1 - Condizioni al contorno di vento e moto ondoso frequenti annuali analizzate.

Scenario	Frequenza di superamento in ore/anno	Hs (m)	Tp (s)	W10 (Kn)	DIR (°N)
1	451	3	8.85	20.99	300
2	150	4	9.64	24.80	300
3	47	5	10.31	28.22	300

Poiché, come descritto nel seguito, questi stati di mare non hanno dato luogo a sensibili fenomeni di trasporto solido e quindi di sedimentazione nel canale di accesso e nell'area portuale, si è indagato anche un quarto scenario meteomarinario caratterizzato da un tempo di ritorno di 2 anni.

Le caratteristiche del quarto scenario, desunte sempre dallo studio meteomarinario (vedi documento 100-ZA-E-10008 Studio Meteomarinario), sono riportate nella Tabella 5-2.

A scopo cautelativo, le condizioni di vento riportate nelle tabelle sono state assunte costanti in tutta l'area simulata.

Tabella 5-2 - Condizioni al contorno di vento e moto ondoso per un $Tr = 2$ anni.

Tr (anni)	Hs (m)	Tp (s)	W10 (Kn)	DIR (°N)
2	7.97	11.84	37.65	300

Committente 	Progettista 	COMMESSA GC/R2004	UNITA' 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente 100-ZA-E-10026	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 14 di 39	Rev. 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-009

6. STUDIO NUMERICO DEL TRASPORTO DEI SEDIMENTI ALL'INTERNO DELL' AREA PORTUALE

6.1. Descrizione metodologia e modelli di calcolo DELFT3D-FM: FLOW-FM e WAVES

I modelli numerici utilizzati per calcolare l'idrodinamica e la morfodinamica portuale forzata dalla marea, dal vento e dal moto ondoso sono costituiti dal modulo WAVES e dal modulo FLOW-FM facenti parte della suite DELFT3D-FM (FM = Flexible Mesh) sviluppata da Deltares.

In particolare il modulo WAVES calcola il campo di moto ondoso e il modulo FLOW-FM calcola l'idrodinamica, il trasporto solido e le variazioni di fondale.

WAVES risolve l'equazione di bilancio di energia scritta in forma spettrale e può riprodurre sia di condizioni transitorie che stazionarie e tiene conto dei seguenti fenomeni fisici:

- generazione del moto ondoso ad opera del vento;
- interazione non lineare tra le componenti spettrali,
- rifrazione e shoaling;
- frangimento del moto ondoso in acqua profonda e bassa (indotto dal fondale);
- attrito sul fondo;
- sovrizzo indotto dal moto ondoso frangente (wave setup);
- diffrazione del moto ondoso in modo approssimato.

Nel presente caso, in via cautelativa, il modello è stato applicato in condizioni stazionarie, assumendo condizioni di moto ondoso a largo non variabili nel tempo.

FLOW-FM risolve le equazioni di Navier-Stokes utilizzando l'ipotesi di "acqua bassa" ("shallow water") con l'approssimazione di Boussinesq. Il modello è stato utilizzato nel presente lavoro nella sua formulazione integrata sulla verticale.

I due moduli sono stati applicati in modalità accoppiata in modo tale che WAVES fornisca il campo di moto ondoso a FLOW-FM il quale calcola l'idrodinamica costiera complessiva, indotta da onde, marea e vento e il trasporto solido indotto anche dal moto ondoso.

Il codice consente di schematizzare il dominio di calcolo mediante una griglia agli elementi finiti e quindi permette di aumentare la risoluzione spaziale nelle aree in cui si sviluppano i massimi gradienti di velocità e di seguire agevolmente i contorni "terra", costituiti dalla costa e dalle opere marittime, anche fortemente irregolari.

La griglia di calcolo utilizzata per FLOW-FM (vedi Figura 6-1), di forma rettangolare, ha la stessa estensione spaziale di quella utilizzata per lo studio 100-ZA-E-10009 "Propagazione del moto ondoso da largo a riva" e quindi ha le dimensioni di 62.5 km x 52.5 km. La griglia è ruotata rispetto al Nord geografico in modo tale da presentare il lato NO del dominio di calcolo perpendicolare alla direzione di provenienza del vento analizzata (300°N) come mostrato nella Figura 6-1.

Committente 	Progettista 	COMMESSA GC/R2004	UNITA' 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente 100-ZA-E-10026	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 15 di 39	Rev. 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-009

La Figura 6-2 e la Figura 6-3 mostrano due particolari della griglia di calcolo rispettivamente della zona prospiciente Portovesme e dell'area interna portuale. La risoluzione spaziale della griglia varia da un massimo di 250.0 m a largo ad un minimo di 10.0 m vicino e all'interno dell'area portuale di Portovesme.

Nella Figura 6-3 è stato evidenziato in rosso il contorno esterno dell'area in cui verrà effettuato il dragaggio (1° lotto) in modo tale da permettere l'ormeggio lungo la banchina Est della FSRU. L'area posta all'interno della linea rossa è sicuramente quella potenzialmente soggetta a fenomeni di interrimento. Ovviamente le simulazioni sono state eseguite assumendo che il dragaggio relativo al primo lotto sia stato eseguito.

WAVES è stato invece applicato utilizzando una griglia COARSE (vedi Figura 6-1) e una NESTED per permettere di risolvere il campo d'onda con una risoluzione maggiore nella zona prospiciente Portovesme.

La griglia COARSE ha anch'essa la stessa estensione e risoluzione spaziale di quella utilizzata per lo studio 100-ZA-E-10009 "Propagazione del moto ondoso da largo a riva" e quindi ha le dimensioni di 62.5 km x 52.5 km e risoluzione di 250 m.

La griglia NESTED ha invece dimensioni di 14 km x 10 km e risoluzione di 20 m. Entrambe le griglie sono ruotate rispetto al Nord geografico in modo tale da presentare il lato NO del dominio di calcolo perpendicolare alla direzione di provenienza del vento analizzata (300°N).

Per quanto riguarda la batimetria sono state utilizzate le seguenti sorgenti di dati:

- carte nautiche IGMI CN45, 46, 47;
- carta nautica IGMI CN 294-Canale di S.Pietro;
- dati batimetrici Emodnet;
- rilievo batimetrico dell'area portuale eseguito dalla Geosintech nel 2019;
- planimetria generale dell'area di dragaggio stato di Progetto relativo al Progetto Definitivo di dragaggio (Capogruppo mandataria: Intercantieri Vittadello) redatto nel 2016.

Lungo i contorni aperti della griglia di calcolo (lati NE, NO, SO e SE) è stata imposta mediante l'ausilio del codice Open Earth Tool, la variazione nel tempo della marea astronomica, opportunamente sfasata nello spazio sia nel tempo che in ampiezza, in modo tale da riprodurre in corrispondenza del Porto di Carloforte la marea astronomica riportata in Figura 5-1.

Per quanto riguarda il vento, la sua intensità è stata assunta costante sia nel tempo che in direzione sull'intero dominio di calcolo.

Le condizioni di moto ondoso sono state invece considerate come condizioni al contorno lungo i lati NO, SO e SE.

Committente 	Progettista 	COMMESSA GC/R2004	UNITA' 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente 100-ZA-E-10026	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 16 di 39	Rev. 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-009

Similmente a come definito nella relazione 100-ZA-E-10021 “Idrodinamica costiera e dell’area portuale”, per ridurre i fenomeni di instabilità numerica che potrebbero insorgere nelle simulazioni applicando in modo repentino un vento di intensità elevata, questo è stato applicato con una rampa iniziale incrementando linearmente la sua velocità partendo da un valore nullo. La rampa, considerato l’intensità inferiore del vento rispetto a quello dello studio precedente, è stata ridotta ad una durata di 4 h al termine della quale si raggiunge la velocità finale che poi è stata mantenuta costante per la rimanente parte della simulazione.

Per i parametri e le variabili che caratterizzano le simulazioni numeriche sono stati utilizzati valori “standard” suggeriti dalla letteratura specializzata in situazioni idrodinamiche e morfologiche simili.

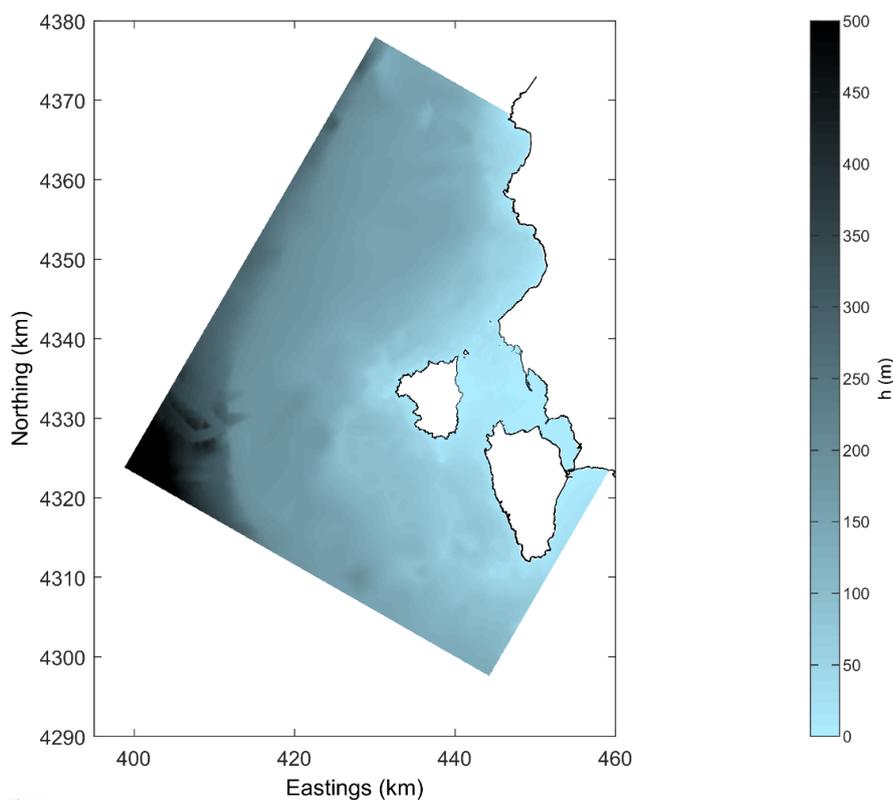


Figura 6-1 - Griglia di calcolo.

Committente 	Progettista 	COMMESSA GC/R2004	UNITA' 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente 100-ZA-E-10026	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 17 di 39	Rev. 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-009

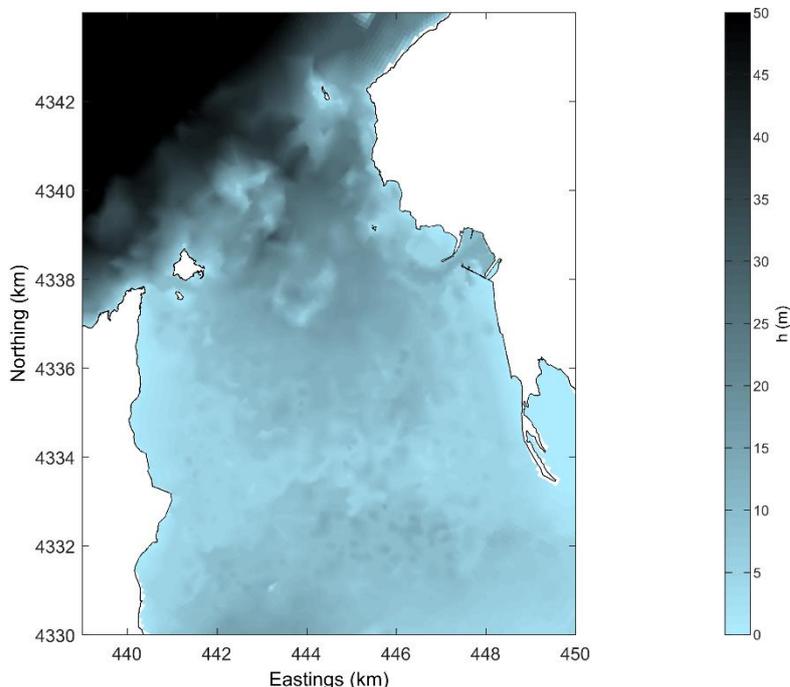


Figura 6-2 - Ingrandimento nella zona prospiciente Portovesme.

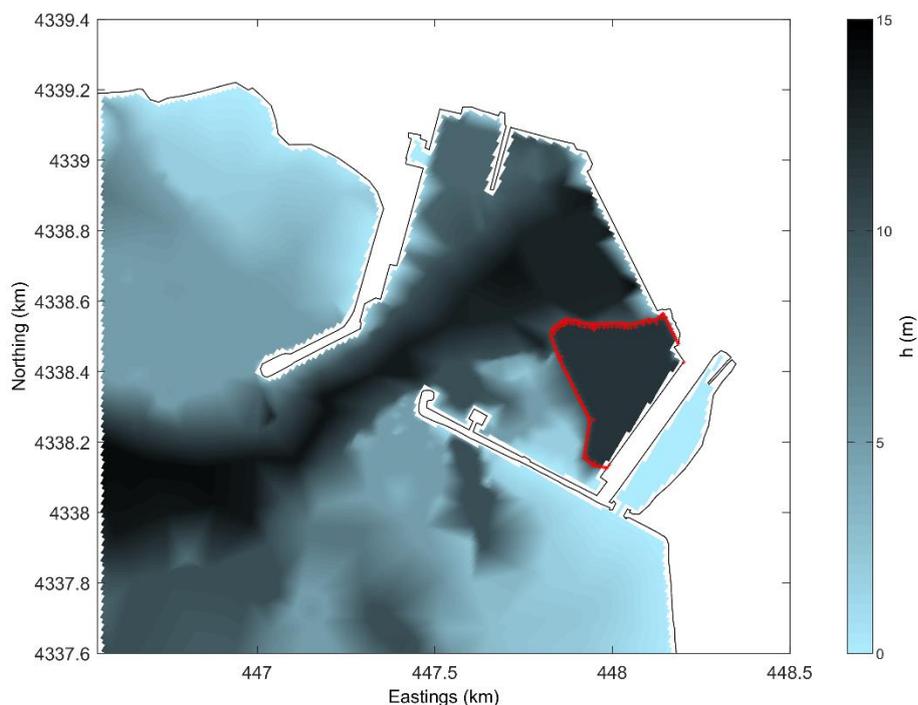


Figura 6-3 - Particolare della zona portuale di Portovesme con in rosso l'area che verrà sottoposta a dragaggio.

Committente 	Progettista 	COMMESSA GC/R2004	UNITA' 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente 100-ZA-E-10026	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 18 di 39	Rev. 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-009

Infine, per simulare il trasporto di sedimenti ed in particolare possibili fenomeni di erosione e deposizione è stato implementato uno strato erodibile di 2 m di profondità nell'area interna portuale e nel canale di accesso (vedi Figura 6-4). Lo strato erodibile è stato esteso al canale di accesso considerando le stesse caratteristiche granulometriche per lavorare a vantaggio di sicurezza.

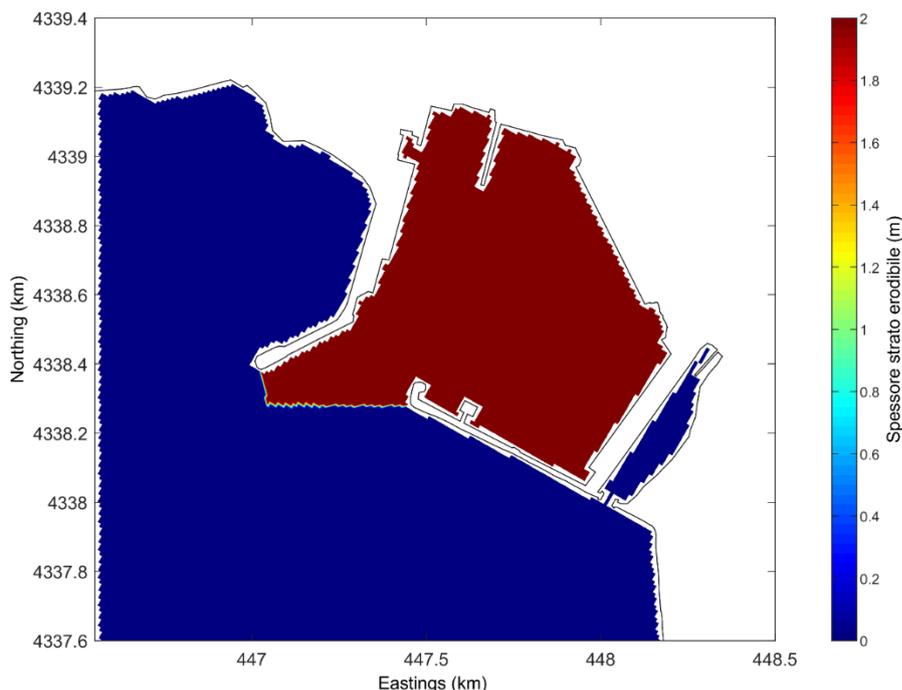


Figura 6-4 - Area soggetta a fenomeni di trasporto solido: spessore strato erodibile 2,0 m.

6.2. Risultati dei campi idrodinamici e del trasporto dei sedimenti per condizioni di vento e moto ondoso annuali

Sono riportati di seguito i risultati dei campi idrodinamici ottenuti per i tre scenari di vento e onde analizzate definiti in Tabella 5-1.

Per ciascuno scenario sono riportati i seguenti risultati:

- il campo di velocità della corrente nella porzione di mare in cui ricade Portovesme e il suo canale di accesso definita nella Figura 6-2 e nella Figura 6-3, dopo che la simulazione ha raggiunto un regime stazionario all'interno del porto;
- la portata solida totale istantanea espressa in $m^3/s/m$ nella porzione di mare in cui ricade Portovesme e il suo canale di accesso definita nella Figura 6-3 dopo che la simulazione ha raggiunto un regime stazionario all'interno del porto.
- i valori cumulati di erosione e di deposizione nelle 7h di simulazione considerate per ogni scenario e il calcolo dei loro valori di sedimentazione e

Committente 	Progettista 	COMMESSA GC/R2004	UNITA' 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente 100-ZA-E-10026	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 19 di 39	Rev. 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-009

di erosione mediata nelle “aree di interesse” (canale di accesso e bacino portuale).

Per quanto riguarda le “aree di interesse”, costituite in generale dal canale di accesso e dal bacino portuale, le simulazioni numeriche hanno mostrato che le aree dove effettivamente si ottengono valori non nulli per la sedimentazione e per l'erosione sono quelle indicate in Figura 6-5 e distinte con le lettere A1, A2 e A3. Pertanto il calcolo della sedimentazione e della erosione mediata sull'area è stato eseguito su queste aree.

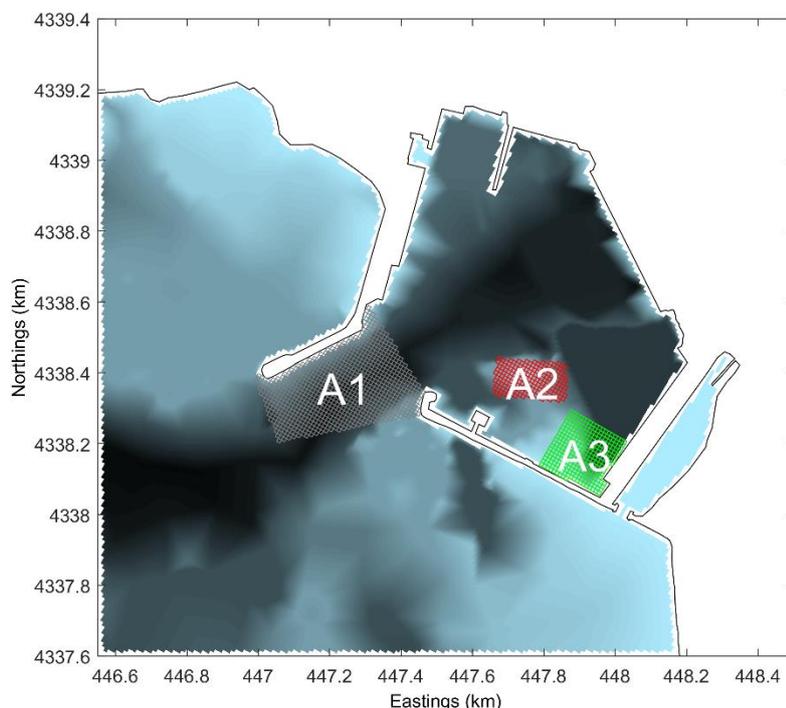


Figura 6-5 - Divisione delle aree per il calcolo di deposizione ed erosione cumulata media.

6.2.1. Risultati per lo Scenario 1

La Figura 6-6 e la Figura 6-7 mostrano il modulo e la direzione del campo idrodinamico indotto dal vento, dalla marea e dal moto ondoso nell'istante in cui si verificano i massimi valori in modulo della velocità all'interno di Portovesme.

La Figura 6-8 mostra i valori del modulo della portata solida totale istantanea con la relativa direzione dopo il raggiungimento del regime stazionario all'interno del porto. La Figura 6-9 mostra un ingrandimento della figura precedente relativo all'area che verrà interessata dal dragaggio.

Infine, in Figura 6-10 sono presentati i valori cumulati di deposizione ed erosione dei sedimenti nelle 7h di simulazione.

Committente 	Progettista 	COMMESSA GC/R2004	UNITA' 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente 100-ZA-E-10026	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 20 di 39	Rev. 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-009

In particolare, queste figure evidenziano i seguenti aspetti:

- la velocità media sulla verticale della corrente, diretta prevalentemente lungo la direzione di azione del vento, è influenzata in termini direzionali dalla costa e nella sua intensità dai fondali tendendo ad aumentare in modulo dove si riducono i fondali e quindi aumentano le dissipazioni di energia;
- il pennello orientato lungo la direzione Sud-Ovest Nord-Est, che delimita il lato Ovest dell'imboccatura portuale, indirizza verso l'esterno del porto la corrente longitudinale costiera forzata dal vento e dal moto ondoso proveniente da Nord-Ovest deviando di conseguenza verso il largo eventuali sedimenti costieri che comunque sono da considerarsi di modesta entità essendo il litorale prevalentemente roccioso;
- all'interno del porto, similmente a quanto visto nello studio 10021 "Studio di Idrodinamica costiera e portuale rev.01.", si genera in prossimità della banchina Est, dove verrà ormeggiata la FSRU, un vortice anti-orario la cui intensità aumenta nella zona di fondale esclusa dal dragaggio (caratterizzata da basse profondità) posta in aderenza al lato interno del molo Est che delimita l'imboccatura portuale. Tuttavia il vortice risulta di intensità inferiore rispetto a quelli riportati nel citato rapporto poiché le velocità del vento simulate in questa sede sono di minore intensità, anche se nel presente caso si è tenuto conto della presenza del moto ondoso che era stata trascurata nel caso precedente;
- le velocità all'esterno del porto risultano invece comparabili alle velocità ottenute nel documento 10021 Studio di Idrodinamica costiera e portuale rev.01 con condizioni di vento di maggiore intensità. La causa è da imputare al fatto che all'esterno del porto il moto ondoso tende a compensare, in termini di velocità idrodinamica, la riduzione della velocità del vento. Tuttavia la presenza del moto ondoso non influisce sostanzialmente sull'idrodinamica che si viene a determinare all'interno del porto, poiché le onde sono attenuate dal pennello posto all'imboccatura dell'area portuale.

Committente 	Progettista 	COMMESSA GC/R2004	UNITA' 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente 100-ZA-E-10026	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 21 di 39	Rev. 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-009

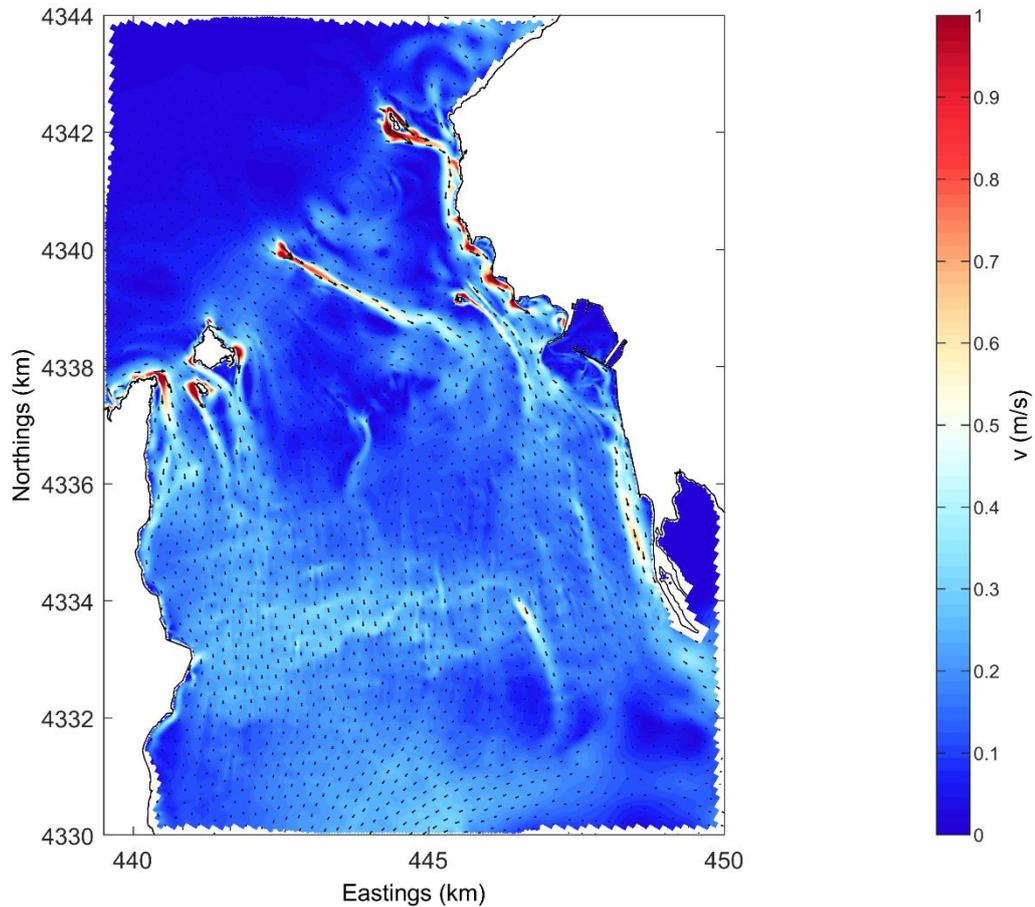


Figura 6-6 - Scenario 1. Modulo delle velocità e direzioni della corrente dopo il raggiungimento del regime stazionario.

Committente 	Progettista 	COMMESSA GC/R2004	UNITA' 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente 100-ZA-E-10026	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 22 di 39	Rev. 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-009

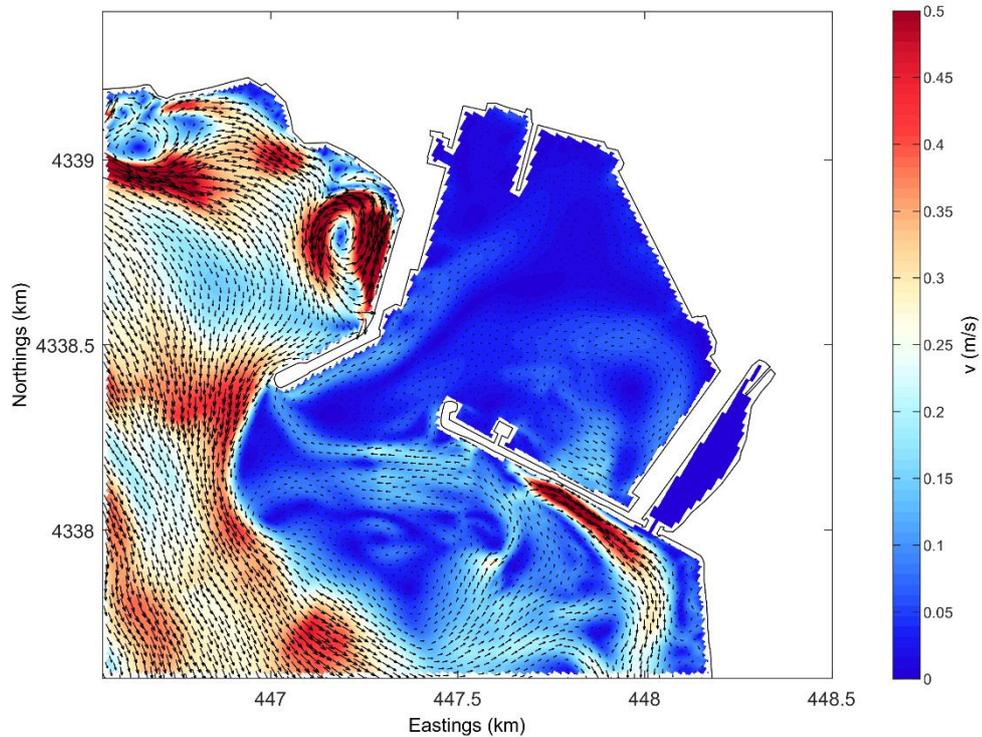


Figura 6-7 - Scenario 1. Modulo delle velocità e direzioni della corrente dopo il raggiungimento del regime stazionario. Particolare dell'area interna di Portovesme.

Committente 	Progettista 	COMMESSA GC/R2004	UNITA' 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente 100-ZA-E-10026	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 23 di 39	Rev. 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-009

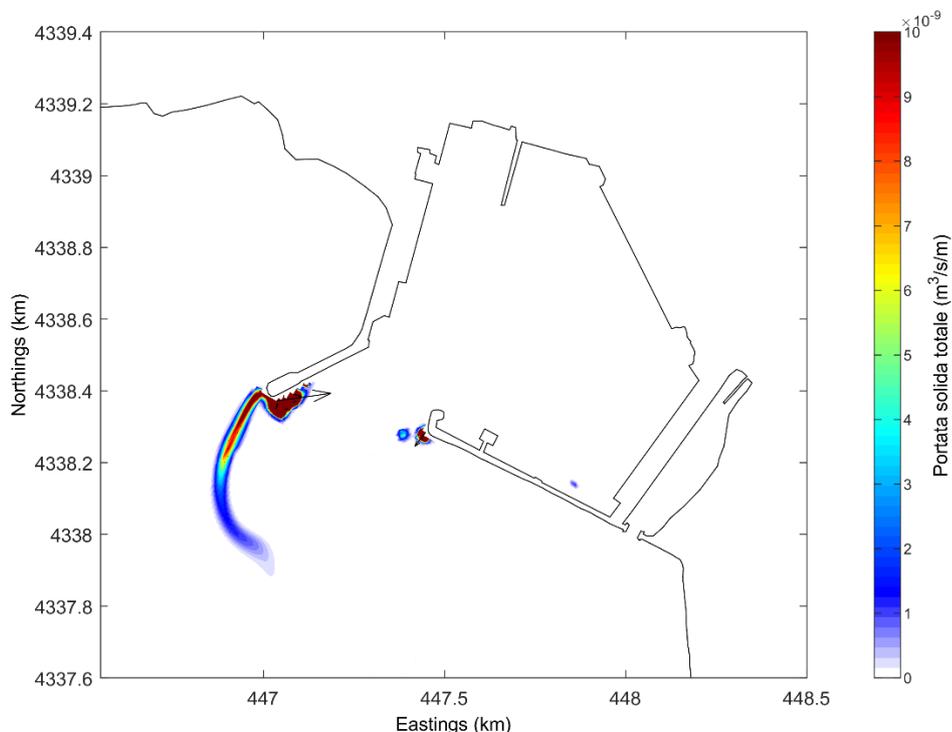


Figura 6-8 – Scenario 1. Modulo della portata solida totale istantanea e relativa direzione nell'area interna di Portovesme.

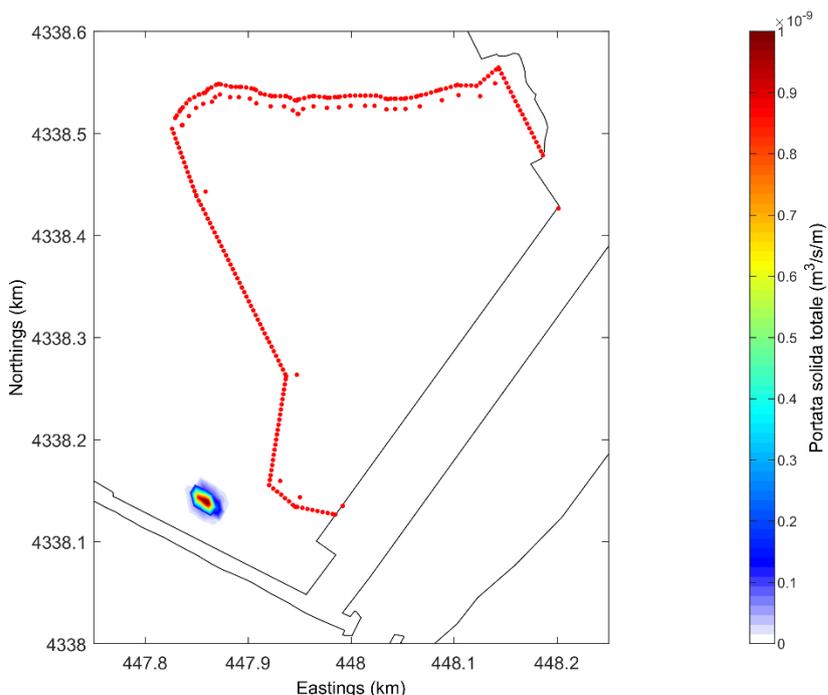


Figura 6-9 - Scenario 1. Modulo della portata solida totale istantanea: ingrandimento dell'area di dragaggio.

Committente 	Progettista 	COMMESSA GC/R2004	UNITA' 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente 100-ZA-E-10026	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 24 di 39	Rev. 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-009

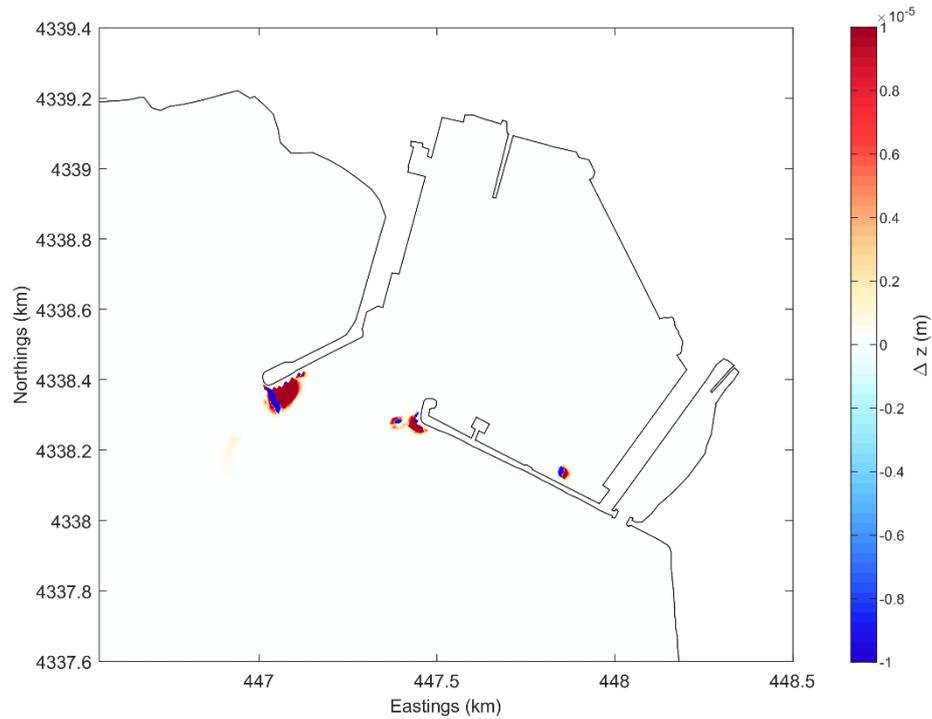


Figura 6-10 - Scenario 1. Variazione del fondale marino al termine delle ultime 7 ore di durata della simulazione.

Committente 	Progettista 	COMMESSA GC/R2004	UNITA' 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente 100-ZA-E-10026	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 25 di 39	Rev. 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-009

6.2.2. Risultati per lo Scenario 2

Per lo Scenario 2 le correnti e il trasporto dei sedimenti assumono caratteristiche non dissimili da quelle derivate dall'analisi dello Scenario 1 ma con intensità maggiori.

Ciò risulta chiaramente dal modulo della portata solida totale riportato in Figura 6-13 che risulta di circa un ordine di grandezza superiore rispetto allo scenario precedente (vedi Figura 6-9).

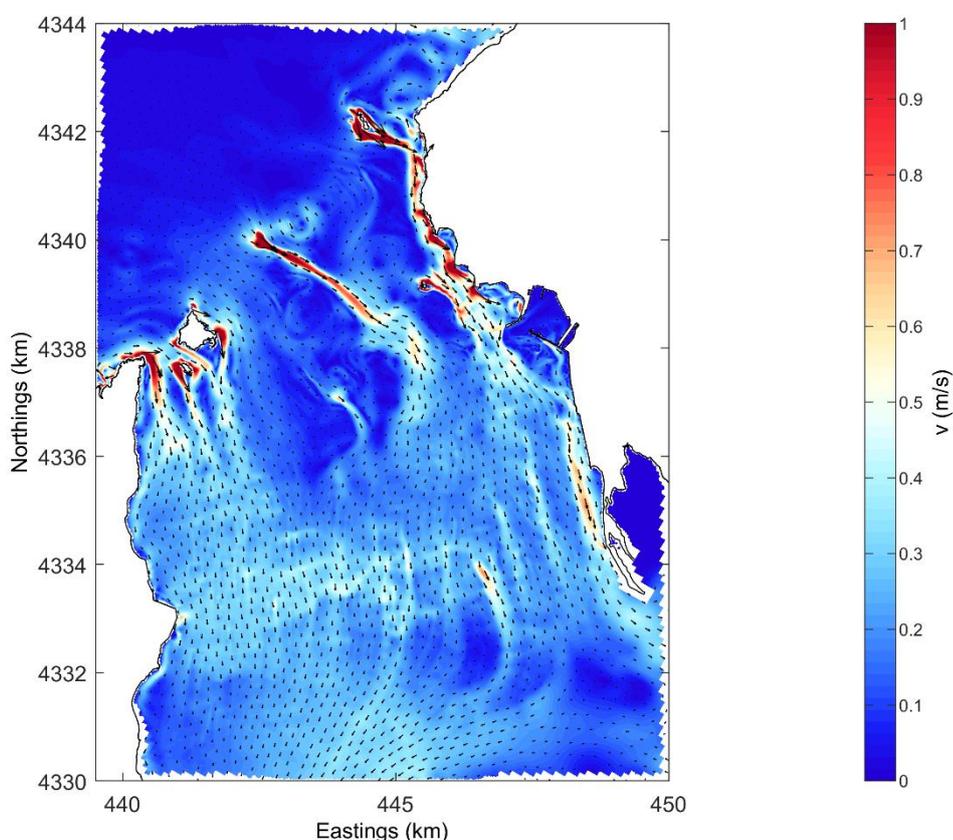


Figura 6-11 - Scenario 2. Modulo delle velocità e direzioni della corrente dopo il raggiungimento del regime stazionario.

Committente 	Progettista 	COMMESSA GC/R2004	UNITA' 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente 100-ZA-E-10026	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 26 di 39	Rev. 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-009

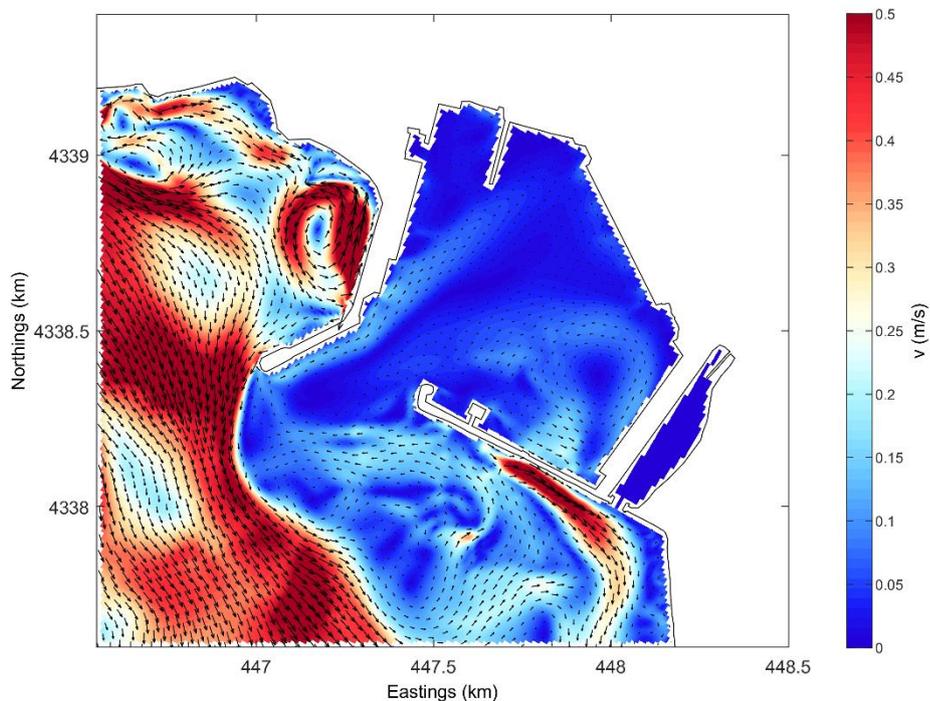


Figura 6-12 - Scenario 2. Modulo delle velocità e direzioni della corrente dopo il raggiungimento del regime stazionario. Particolare dell'area interna di Portovesme.

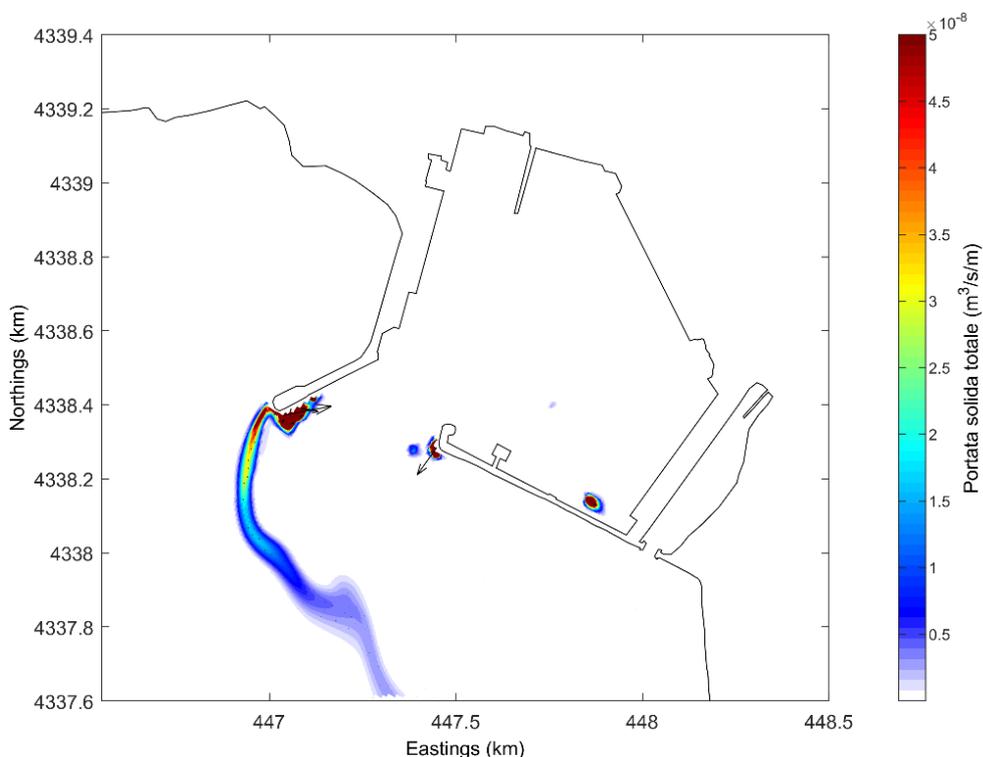


Figura 6-13 – Scenario 2. Modulo della portata solida totale istantanea e relativa direzione nell'area interna di Portovesme.

Committente 	Progettista 	COMMESSA GC/R2004	UNITA' 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente 100-ZA-E-10026	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 27 di 39	Rev. 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-009

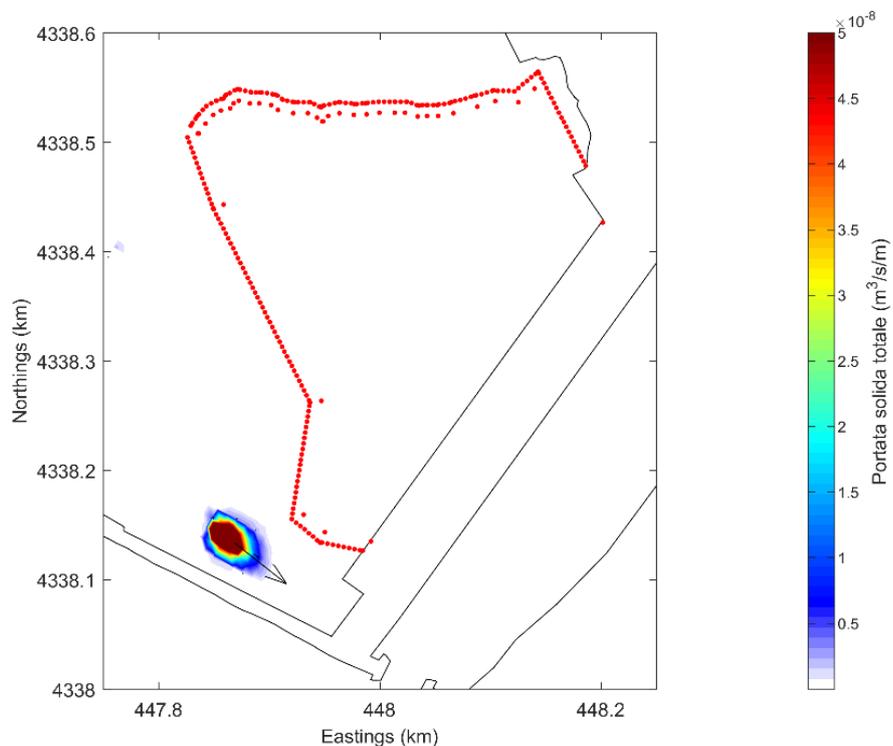


Figura 6-14 - Scenario 2. Modulo della portata solida totale istantanea: ingrandimento dell'area di dragaggio.

Committente 	Progettista 	COMMESSA GC/R2004	UNITA' 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente 100-ZA-E-10026	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 28 di 39	Rev. 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-009

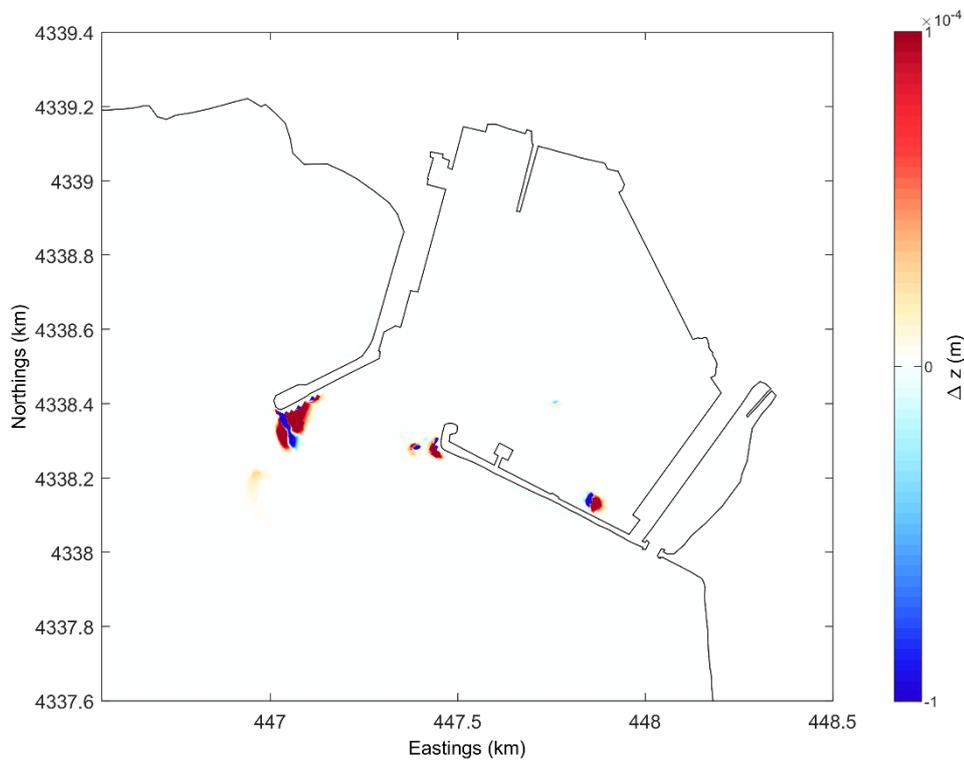


Figura 6-15 - Scenario 2. Variazione del fondale marino al termine delle ultime 7 ore di durata della simulazione.

Committente 	Progettista 	COMMESSA GC/R2004	UNITA' 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente 100-ZA-E-10026	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 29 di 39	Rev. 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-009

6.2.3. Risultati per lo Scenario 3

Anche in questo caso le caratteristiche idrodinamiche e morfodinamiche che si ottengono risultano simili a quelle degli scenari precedenti, ma con una intensità maggiore.

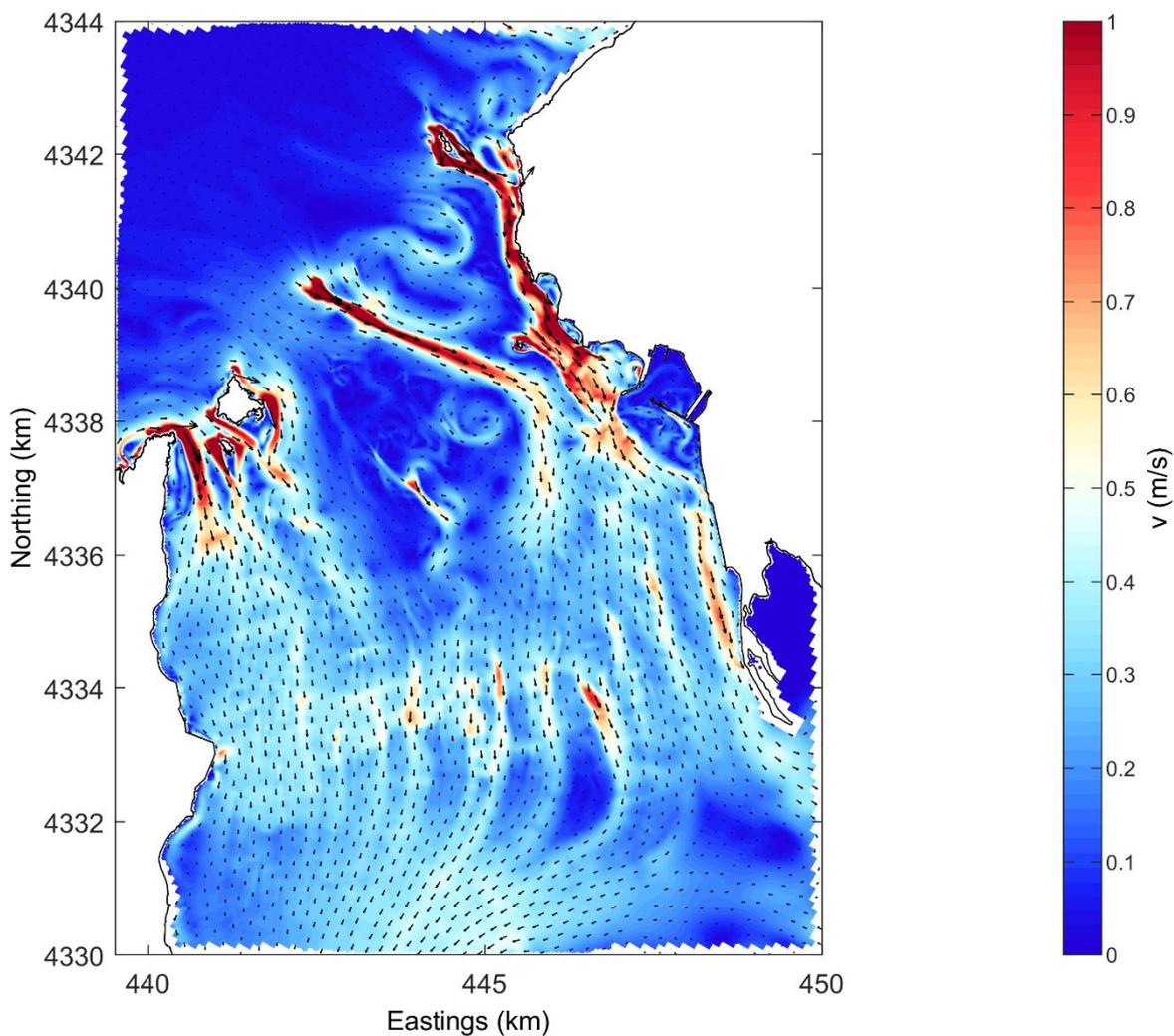


Figura 6-16 - Scenario 3. Modulo delle velocità e direzioni della corrente dopo il raggiungimento del regime stazionario.

Committente 	Progettista 	COMMESSA GC/R2004	UNITA' 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente 100-ZA-E-10026	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 30 di 39	Rev. 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-009

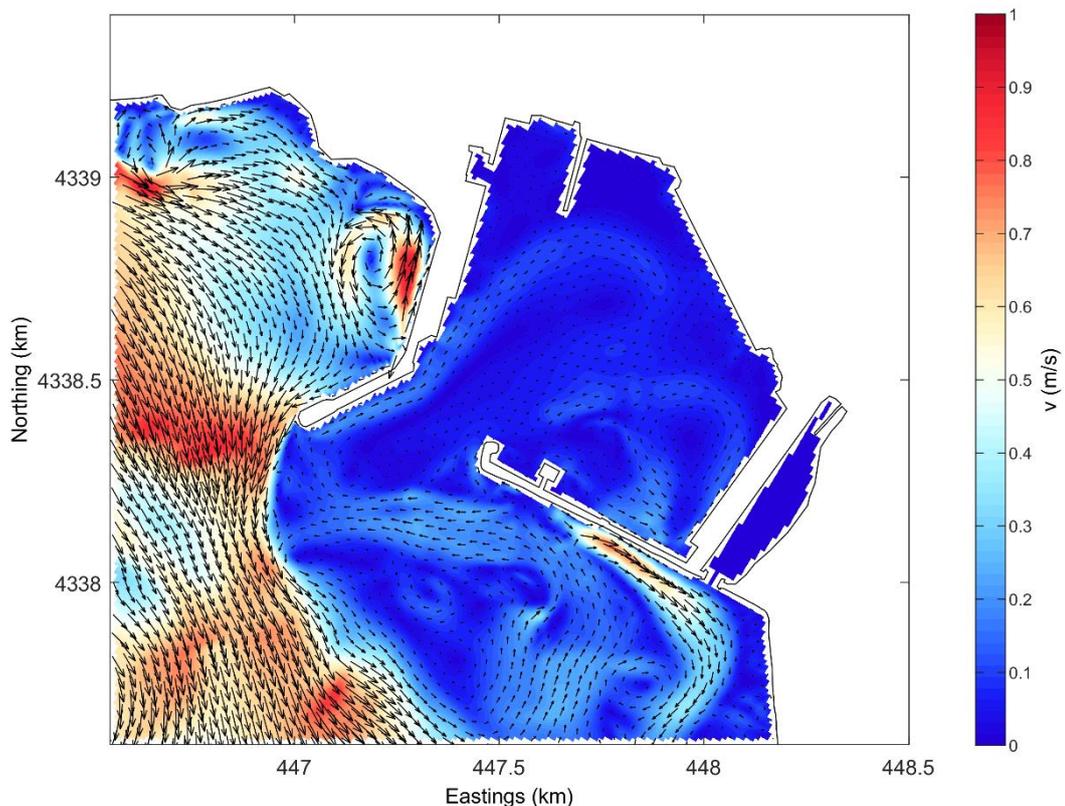


Figura 6-17 - Scenario 3. Modulo delle velocità e direzioni della corrente dopo il raggiungimento del regime stazionario. Particolare dell'area interna di Portovesme.

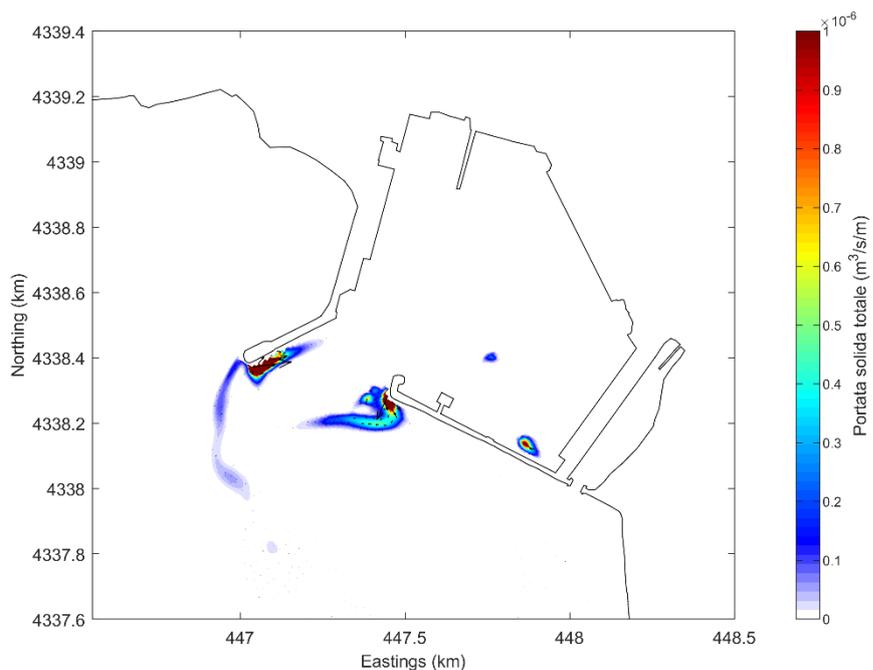


Figura 6-18 – Scenario 3. Modulo della portata solida totale istantanea e relativa direzione nell'area interna di Portovesme.

Committente 	Progettista 	COMMESSA GC/R2004	UNITA' 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente 100-ZA-E-10026	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 31 di 39	Rev. 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-009

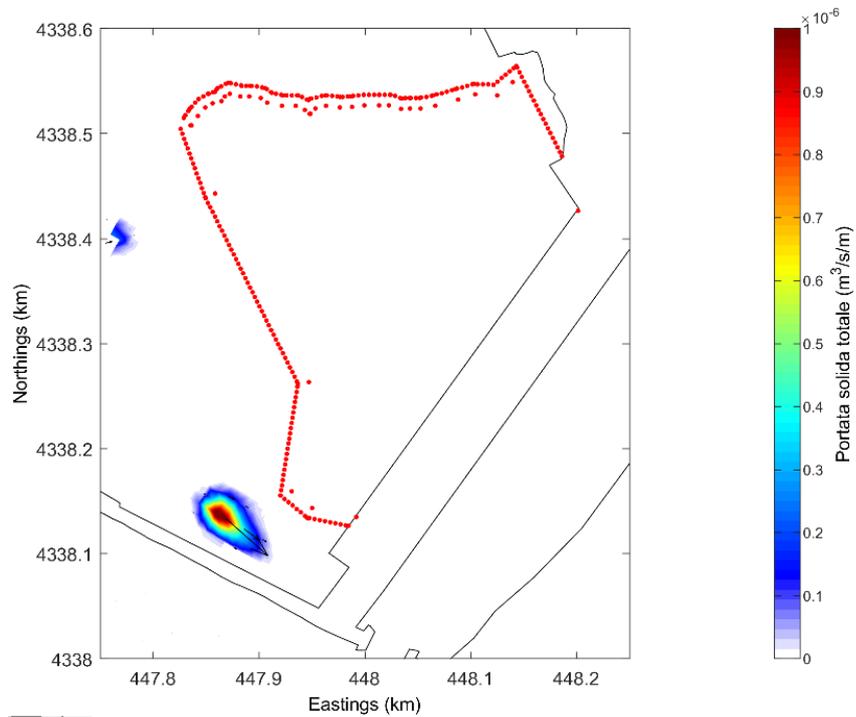


Figura 6-19 - Scenario 3. Modulo della portata solida totale istantanea: ingrandimento dell'area di dragaggio.

Committente 	Progettista 	COMMESSA GC/R2004	UNITA' 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente 100-ZA-E-10026	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 32 di 39	Rev. 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-009

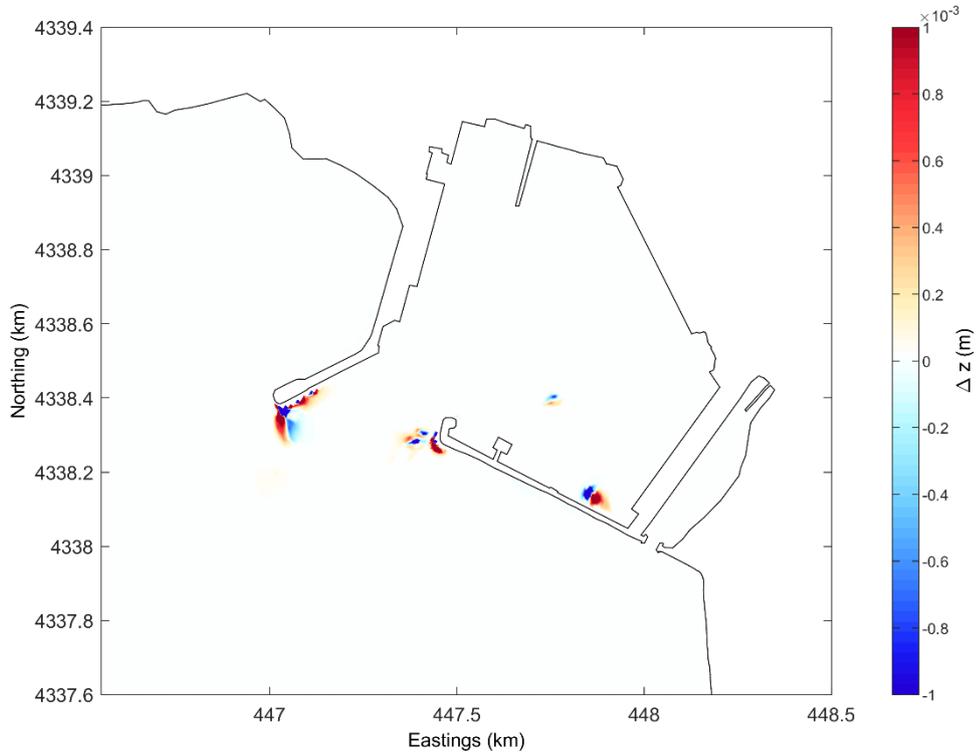


Figura 6-20 - Scenario 3. Variazione del fondale marino al termine delle ultime 7 ore di durata della simulazione.

Committente 	Progettista 	COMMESSA GC/R2004	UNITA' 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente 100-ZA-E-10026	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 33 di 39	Rev. 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-009

6.1. Risultati dei campi idrodinamici e del trasporto dei sedimenti per $T_r = 2$ anni

Le condizioni meteomarine utilizzate in questo caso sono quelle riportate nella Tabella 5-2 le quali risultano sensibilmente superiori rispetto a quelle utilizzate per le simulazioni eseguite in relazione ai tre scenari descritte nei precedenti paragrafi riportate nella Tabella 5-1.

Come era lecito aspettarsi, con riferimento alla Figura 6-21 la velocità della corrente risulta maggiore rispetto agli scenari con condizioni frequenti.

La corrente in corrispondenza del canale di accesso del porto forma un vortice orario (Figura 6-22) che movimentata in modo più rilevante i sedimenti del fondo che seguono lo stesso tipo di rotazione oraria con portate solide totali maggiori lungo il pennello che delimita l'ingresso al porto nel lato Nord-Ovest e portate solide totali inferiori al centro del canale come si può evincere da Figura 6-23.

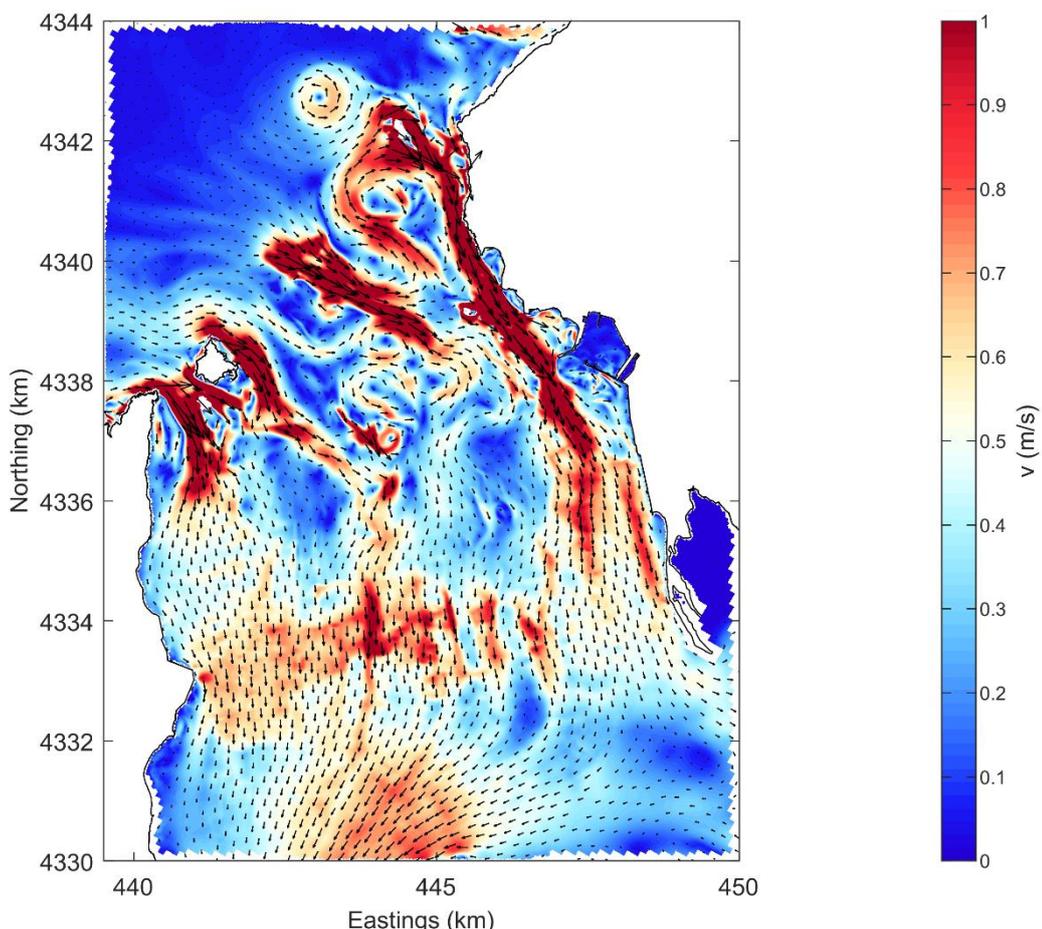


Figura 6-21 - $T_r = 2$ anni. Modulo delle velocità e direzioni della corrente dopo il raggiungimento del regime stazionario.

La Figura 6-24 mostra l'ingrandimento dell'area portuale dove la direzione della portata solida totale istantanea tende a ruotare in prossimità della banchina Est fino

Committente 	Progettista 	COMMESSA GC/R2004	UNITA' 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente 100-ZA-E-10026	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 34 di 39	Rev. 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-009

ad assumere una direzione ad essa parallela in ingresso nell'area dragata. Questo andamento della portata solida indica la possibilità che si verifichino fenomeni di deposito, per quanto di entità molto limitata, all'interno dell'area di ormeggio della FSRU. Si fa notare come il campo di valori visualizzato sia di alcuni ordini di grandezza superiore rispetto a quanto visto per le condizioni frequenti annue. L'erosione e la deposizione dei sedimenti movimentati assume caratteristiche simili agli Scenari 1,2 e 3 ma con entità maggiori (Figura 6-25).

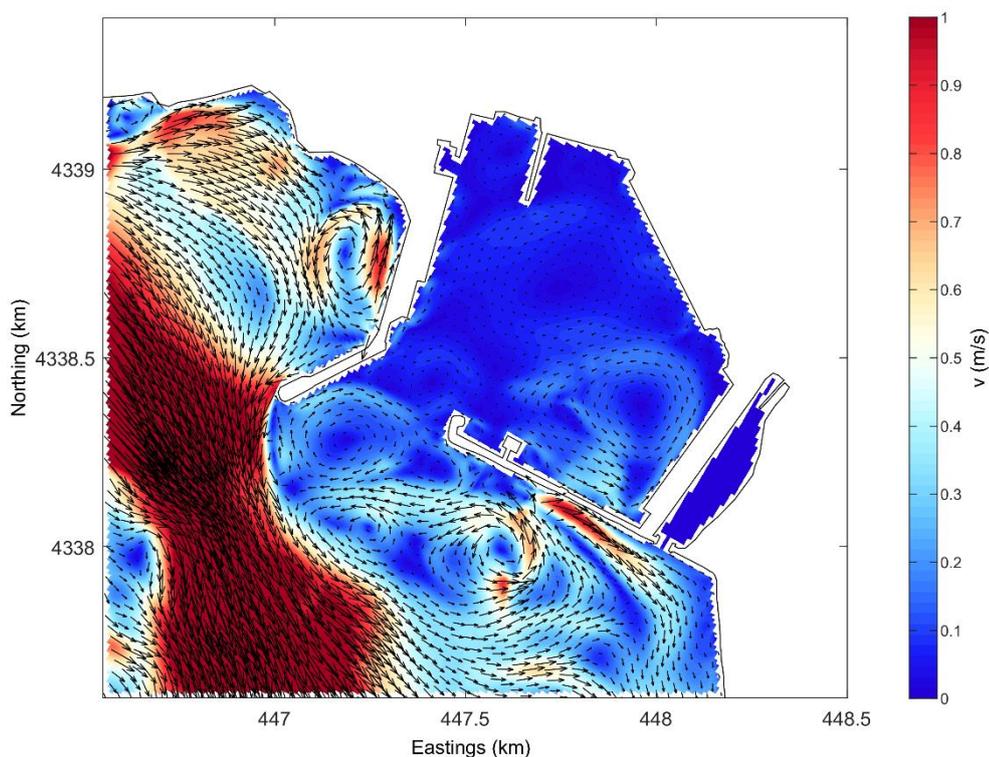


Figura 6-22 - $T_r = 2$ anni. Modulo delle velocità e direzioni della corrente dopo il raggiungimento del regime stazionario. Particolare dell'area interna di Portovesme.

Committente 	Progettista 	COMMESSA GC/R2004	UNITA' 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente 100-ZA-E-10026	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 35 di 39	Rev. 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-009

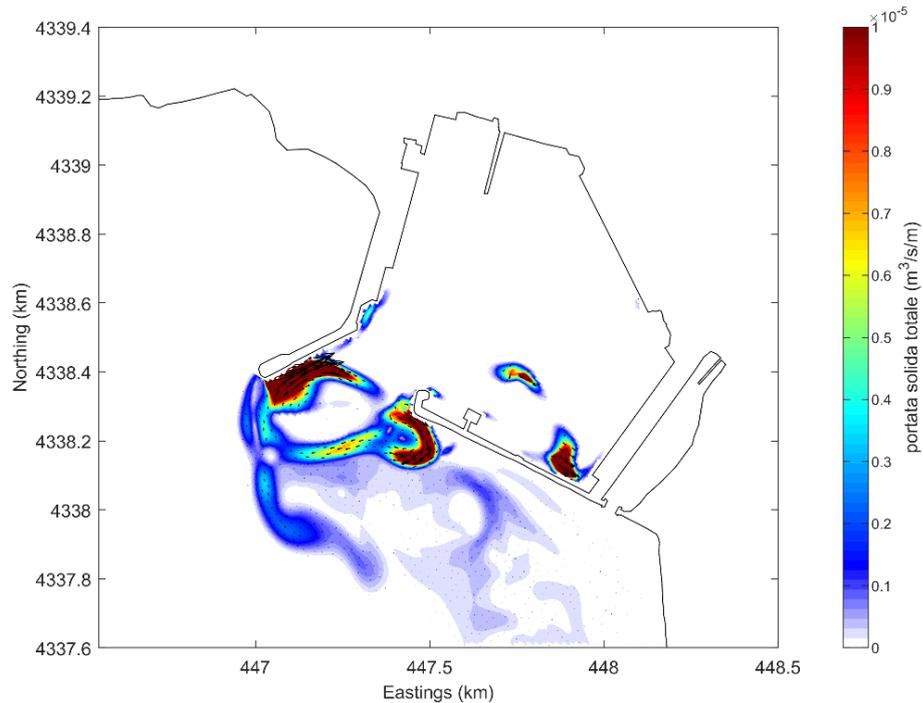


Figura 6-23 – $T_r=2$ anni. Modulo della portata solida totale istantanea e relativa direzione nell'area interna di Portovesme.

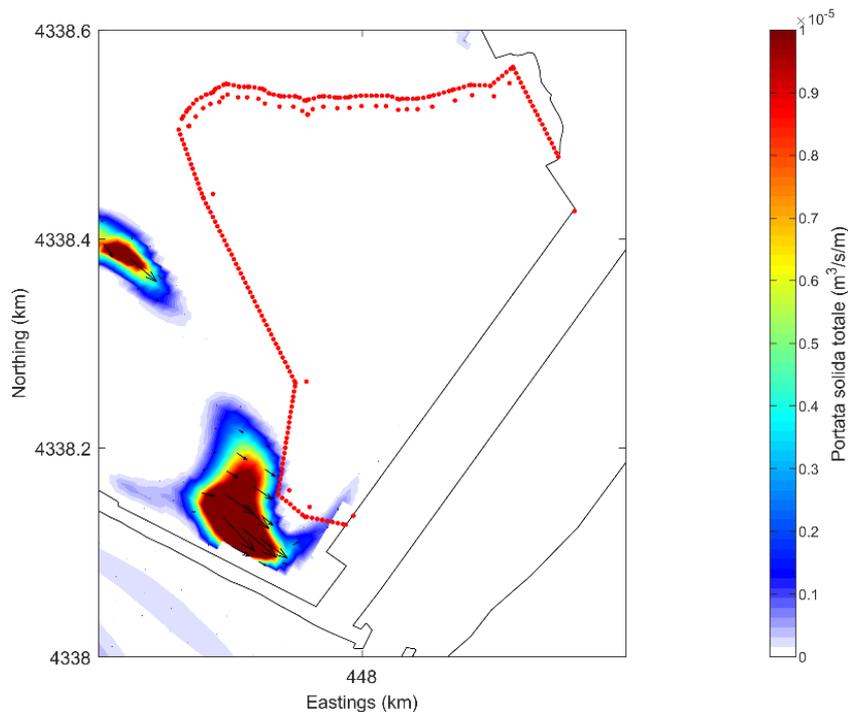


Figura 6-24 - $T_r=2$ anni. Modulo della portata solida totale istantanea: ingrandimento dell'area di dragaggio.

Committente 	Progettista 	COMMESSA GC/R2004	UNITA' 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente 100-ZA-E-10026	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 36 di 39	Rev. 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-009

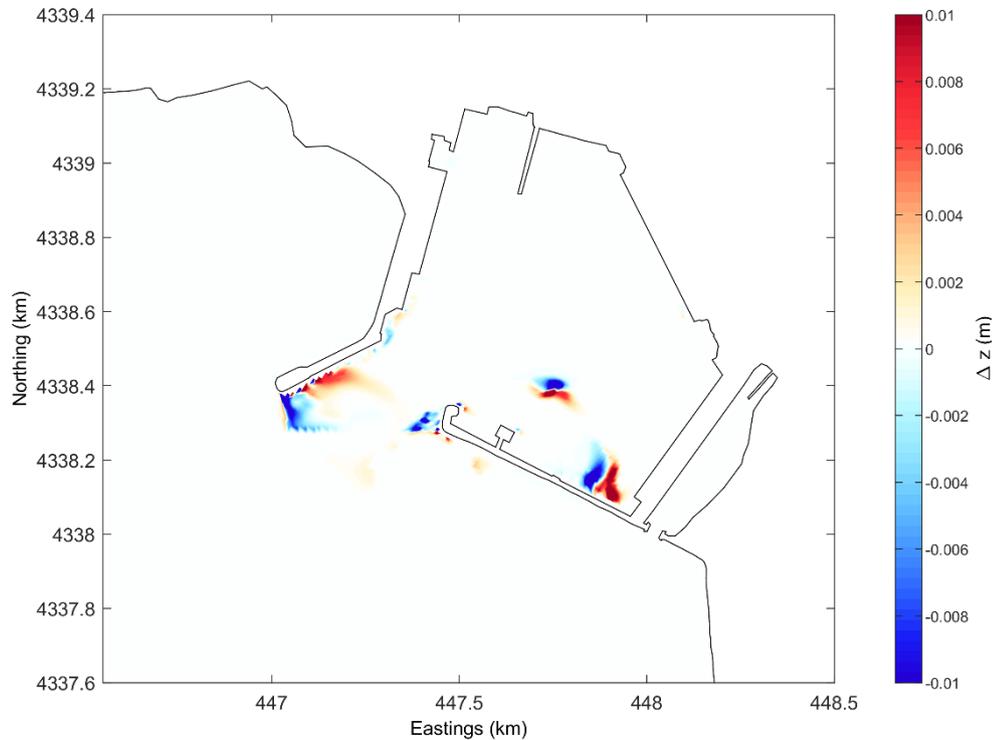


Figura 6-25 – $Tr = 2$ anni. Variazione del fondale marino al termine delle ultime 7 ore di durata della simulazione.

Committente 	Progettista 	COMMESSA GC/R2004	UNITA' 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente 100-ZA-E-10026	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 37 di 39	Rev. 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-009

7. RISULTATI CONCLUSIVI E SINTESI

Si riassumono di seguito i principali risultati ottenuti nell'ambito del presente studio.

Dal punto di vista generale si osserva quanto segue:

- la velocità della corrente all'interno del porto nonostante la presenza del moto ondoso risulta sempre inferiore rispetto ai valori calcolati nel documento 100-ZA-E-10021 "Idrodinamica costiera e dell'area portuale" anche considerando le condizioni estreme con $Tr = 2$ anni. Nonostante si generi una più forte corrente longitudinale costiera all'esterno del porto a causa della presenza del moto ondoso, l'area interna del porto ne è affetta in modo minimo grazie alla protezione offerta dal pennello che, delimitando ad Ovest l'imboccatura portuale, limita la penetrazione del moto ondoso all'interno del porto;
- all'interno del porto si genera, interessando anche la banchina Est, un macro vortice anti-orario la cui intensità aumenta nella zona del porto esclusa dal dragaggio posta in aderenza al lato interno del molo che delimita ad Est l'imboccatura portuale. Questa corrente è in grado di trasportare parte del materiale non dragato nella zona di ormeggio della FSRU anche se le quantità risultano pressoché trascurabili ma aumentano con l'aumentare della severità delle condizioni meteomarine;
- in tutte le aree investigate definite in Figura 6-5 l'erosione prevale sulla deposizione del materiale con parte del materiale, soprattutto nel canale di accesso del porto, che viene trasportato in direzione Sud-Est.

Per quanto riguarda le variazioni dei fondali i valori massimi si verificano per le condizioni meteomarine relative al $Tr = 2$ anni.

Nella Tabella 7-1 e nella Tabella 7-2 sono riassunti i valori di variazione del fondale media positiva (deposizione Tabella 7-1) e negativa (erosione Tabella 7-2) cumulati nelle ultime 7h di simulazione e mediati all'interno di ciascun'area escludendo i valori nulli.

Tabella 7-1 - Valori riassuntivi dei valori di deposizione cumulati nelle ultime 7 h di simulazione mediati all'interno di ciascuna area considerata per ogni scenario escludendo valori nulli.

	A1	A2	A3	Area dragaggio (ormeggio FSRU)
	(m)	(m)	(m)	(m)
Scenario 1	$+4 \times 10^{-5}$	0	$+1 \times 10^{-6}$	$+2 \times 10^{-15}$
Scenario 2	$+5 \times 10^{-5}$	$+5 \times 10^{-7}$	$+2 \times 10^{-5}$	$+3 \times 10^{-12}$
Scenario 3	$+8 \times 10^{-5}$	$+1 \times 10^{-5}$	+0.0001	$+1 \times 10^{-10}$
Tr = 2 anni	+0.0009	+0.001	+0.002	$+4 \times 10^{-6}$

Committente 	Progettista 	COMMESSA GC/R2004	UNITA' 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente 100-ZA-E-10026	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 38 di 39	Rev. 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-009

Tabella 7-2 - Valori riassuntivi dei valori di erosione cumulati nelle ultime 7 h di simulazione mediati all'interno di ciascuna area considerata per ogni scenario escludendo valori nulli.

	A1	A2	A3	Area dragaggio (ormeggio FSRU)
	(m)	(m)	(m)	(m)
Scenario 1	-0.0010	0	-4x10 ⁻⁵	0
Scenario 2	-0.0011	-2x10 ⁻⁵	-0.0002	0
Scenario 3	-0.0013	-0.0003	-0.0005	0
Tr = 2 anni	-0.0050	-0.004	-0.005	0

Con riferimento alla Figura 6-5 dove sono definite le aree A1, A2 e A3, l'area del canale di accesso del porto (A1) in tutti gli scenari considerati sono mediamente caratterizzate da una prevalenza di erosione principalmente causata dalla corrente costiera longitudinale deviata verso il largo dal pennello de delimita a Ovest l'imboccatura portuale.

Le variazioni morfologiche per le altre aree analizzate assumono caratteristiche simili.

Tabella 7-3 - Valori medi annui e volume associato di deposizione all'interno dell'area di dragaggio.

	Deposito medio annuo	Volume medio annuo
	(m)	(m³)
Scenario 1	+1x10 ⁻¹³	+9x10 ⁻⁹
Scenario 2	+6x10 ⁻¹¹	+6x10 ⁻⁶
Scenario 3	+7x10 ⁻¹⁰	+6x10 ⁻⁵

Tabella 7-4 - Valori medi e volume associato di deposizione all'interno dell'area di dragaggio per una condizione di vento e moto ondoso associata ad un Tr = 2 anni durante la vita nominale dell'opera.

	Deposito medio 25 anni	Volume medio 25 anni
	(m)	(m³)
Tr = 2 anni	+5x10 ⁻⁵	4.25

Le variazioni morfologiche sono state anche analizzate all'interno di tutta l'area che verrà interessata da dragaggio. In questa area avviene solo deposizione trasportata principalmente dai processi di trasporto di sedimenti che provengono dall'area A3 ma con valori molto inferiori rispetto alle altre aree analizzate.

Si fa notare che i valori presentati nella Tabella 7-1 e nella Tabella 7-2 sono valori cumulati solo nelle 7 h di durata della simulazione.

Tenendo conto della frequenza di superamento media annuale dei tre Scenari analizzati riportata in Tabella 5-1, si è calcolato il deposito medio annuo nell'area di dragaggio per gli Scenari 1, 2 e 3. I risultati ottenuti sono riportati nella Tabella 7-3.

Committente 	Progettista 	COMMESSA GC/R2004	UNITA' 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente 100-ZA-E-10026	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 39 di 39	Rev. 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-009

Lo stesso calcolo è stato effettuato per lo scenario con tempo di ritorno 2 anni assumendo che esso si verifichi circa 12 volte durante i 25 anni di esercizio della FSRU. I risultati ottenuti sono riportati nella Tabella 7-4.

L'analisi dei risultati riportati nelle due tabelle mostrano chiaramente che i valori di sedimentazione nell'area di dragaggio sono del tutto trascurabili ai fini della manutenzione ordinaria dei fondali nel canale di accesso e nell'area di ormeggio della FSRU.