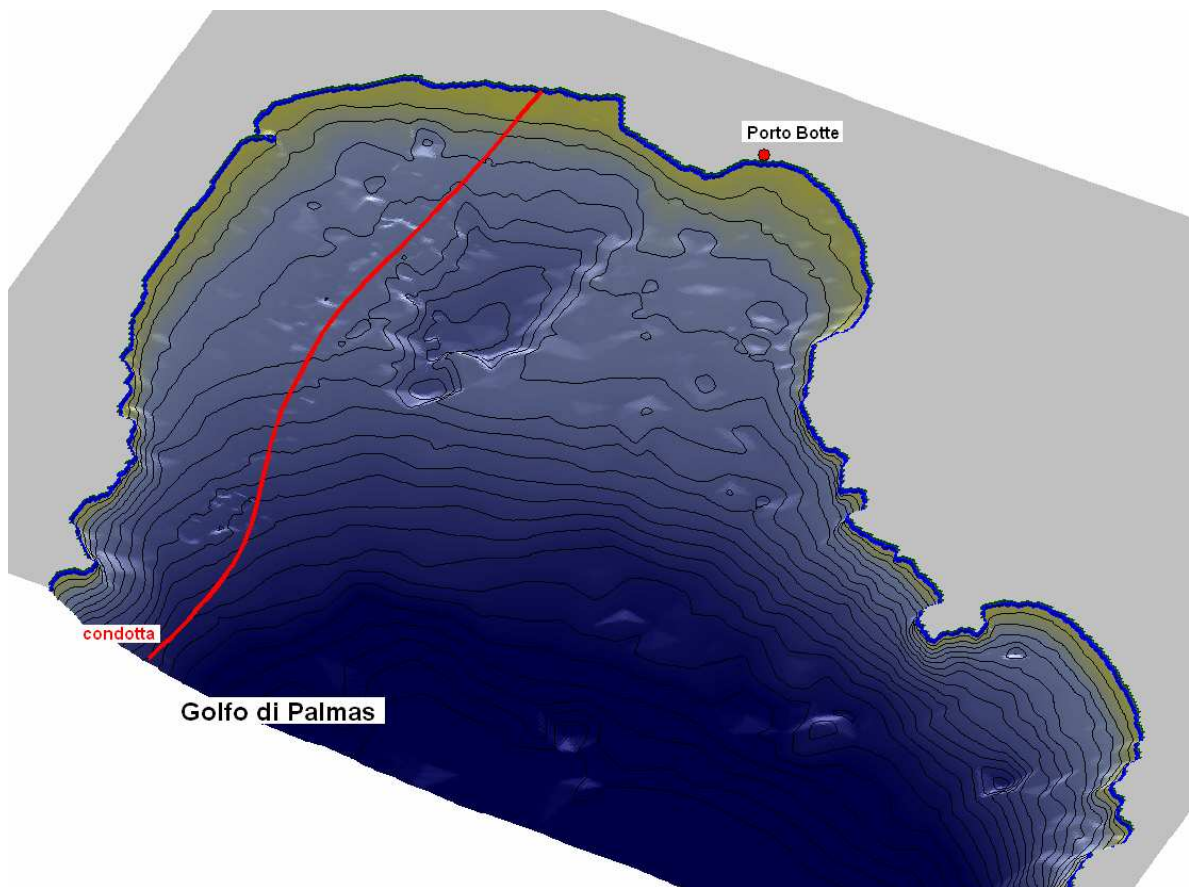





DOCUMENT No. 400178-PBO-GAL-AEI-r0 Pag. 1 di 30	Galsi	
Mar Mediterraneo		400178
AREA	CLIENTE	COMMESSA

Gasdotto Algeria-Sardegna-Italia



DISPERSIONE DEI SEDIMENTI DURANTE LE ATTIVITÀ DI DRAGAGGIO E BACK-FILL: PORTO BOTTE

DOCUMENTO DI SINTESI

					
0	Dicembre 2009	Emissione	Dr. Brunella GUIDA	Dr. Ing. Emanuele TERRILE	Dr. Gianluigi DE FILIPPI
REV	DATA	DESCRIZIONE	AUTORI		APPROVATO

INDICE

1. INTRODUZIONE	3
2. METODOLOGIA	4
2.1 Modelli numerici	4
2.2 Schematizzazione dell'area	4
3. DATI DI INPUT	7
3.1 Condizioni meteo-marine simulate	7
3.2 Tecniche di dragaggio e volumi dragati	8
4. PRESENTAZIONE DEI RISULTATI	10
5. DISCUSSIONE DEI RISULTATI	28
6. BIBLIOGRAFIA	30

1. INTRODUZIONE

In corrispondenza di ciascuno degli approdi del gasdotto in progetto è stato effettuato un accurato studio dell'impatto delle operazioni di scavo e riempimento del corridoio, previste per la posa della condotta, sulle biocenosi pregiate presenti.

Sulla base dei dati meteo-marini esistenti e dei dati forniti dal Committente relativi alla descrizione delle biocenosi esistenti, delle caratteristiche morfologiche, sedimentologiche e stratigrafiche dei fondali, sono state effettuate simulazioni utilizzando apposita modellistica numerica. Nelle simulazioni si è tenuto debito conto delle metodologie operative (modalità di scavo, velocità di avanzamento, volumi dragati, etc..) e delle tecniche di scavo e di riempimento previste (tipologia dei mezzi e degli equipaggiamenti).

Il presente documento è da considerarsi una sintesi tecnica dello studio effettuato per l'approdo di Porto Botte, contenuto nel rapporto tecnico **Doc.No. 400178-PBO-GAL-EI-r0** (nel seguito indicato con **RPBO [rif. 1]**), cui si rimanda per ulteriori dettagli.

2. METODOLOGIA

La modellazione numerica degli effetti indotti dalle attività di dragaggio, quali l'aumento della torbidità, l'incremento dei tassi di sedimentazione, etc. connessi alla risospensione dei sedimenti, è un elemento fondamentale per la valutazione degli impatti potenziali sui fattori abiotici che influenzano le biocenosi pregiate esistenti.

Mediante una modellazione il più possibile dettagliata dei principali fenomeni fisici connessi alle attività di scavo e riempimento del corridoio di posa della condotta, è stata effettuata una descrizione qualitativa e quantitativa dell'evoluzione nello spazio e nel tempo del pennacchio costituito dai sedimenti immessi in sospensione nella colonna d'acqua. È stata inoltre effettuata una stima della concentrazione (mg/L) dei sedimenti sospesi e degli spessori di sedimentazione sui fondali circostanti che potenzialmente possono verificarsi durante e al termine delle operazioni di scavo e riempimento. Tali quantità sono necessarie per la valutazione del conseguente impatto sulla prateria di *Posidonia Oceanica* presente.

Le simulazioni numeriche hanno comportato la descrizione del campo idrodinamico locale, fondamentale per una corretta valutazione della sospensione e conseguente dispersione dei sedimenti. Le metodologie operative, la tipologia di mezzi utilizzati, la tempistica delle attività di dragaggio e la stima dei volumi di materiale fine rilasciato nella colonna d'acqua sono stati determinati a partire da una pianificazione di massima delle attività, fornita dal Committente.

2.1 Modelli numerici

Le condizioni meteo-marine e i parametri geotecnici ed ingegneristici sono stati elaborati e forniti in input ai seguenti modelli:

- modello idrodinamico (si veda Appendice A di RPBO), impiegato per valutare il campo idrodinamico di corrente, indotto dalla marea e dal tipico vento stagionale;
- modello di dragaggio e back-fill DREDGEM (si veda Appendice B di RPBO), utilizzato nella simulazione della dispersione dei sedimenti immessi nella colonna d'acqua, e quindi dell'evoluzione del pennacchio che si sviluppa durante le attività di dragaggio e riempimento;
- modello morfodinamico 3D (si veda Appendice C di RPBO), capace di valutare il trasporto solido potenziale di sedimenti al fondo e in sospensione indotto dalle mareggiate stagionali tipiche.

2.2 Schematizzazione dell'area

Per ottenere simulazioni il più possibile dettagliate e corrette, il dominio di calcolo richiede le seguenti caratteristiche:

- dimensioni sufficienti a modellare in maniera appropriata le caratteristiche di un'area di notevoli estensioni, in modo da garantire che i risultati nella zona di interesse non siano influenzati dalle condizioni al contorno;

- elevata risoluzione spaziale, che permetta di schematizzare in maniera appropriata le opere in progetto e simulare il più possibile nel dettaglio l'idrodinamica locale.

Per soddisfare tali requisiti, è stato definito un sistema integrato di due griglie, a risoluzione spaziale crescente, innestate tra loro, e mostrate in **Fig. 2.1**. La griglia più grande (linea blu, maglie quadrate con lato 50 m) include l'intero Golfo di Palmas, fondamentale per una corretta modellazione dell'idrodinamica locale indotta dalla marea, mentre la griglia di dettaglio (linea verde, maglie quadrate con lato 5 m) è focalizzata sull'area nelle immediate vicinanze del tracciato della condotta ed è stata utilizzata per analizzare la dispersione dei sedimenti risospesi durante le attività di dragaggio e riempimento del corridoio di posa.

In **Fig. 2.2** è rappresentata la batimetria fornita in input ai modelli, estratta dalle carte nautiche disponibili e integrata con i rilievi eseguiti durante le campagne di misura effettuate dal Committente.

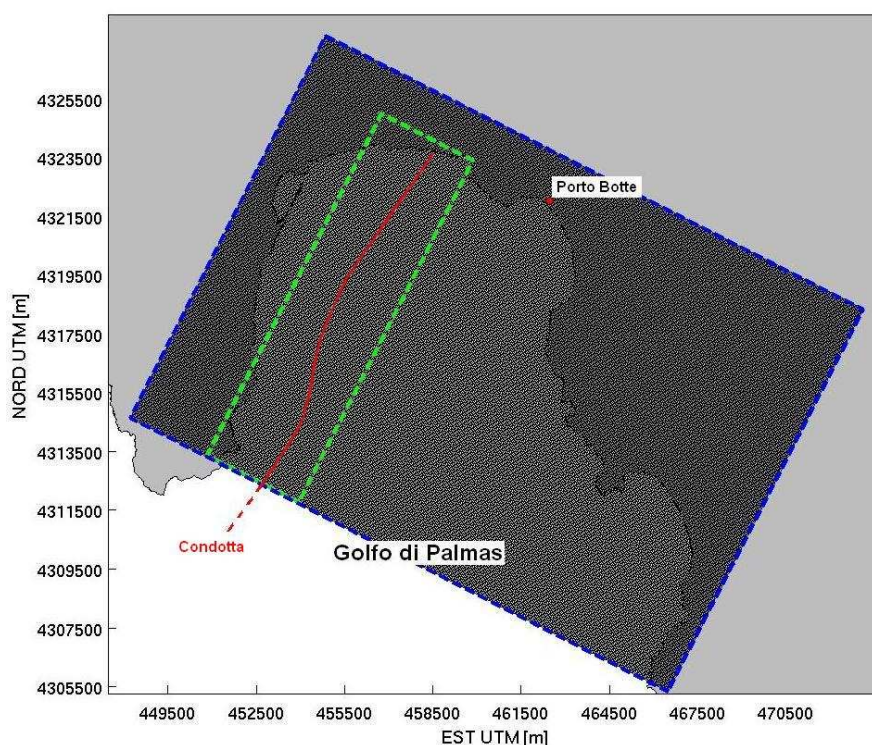
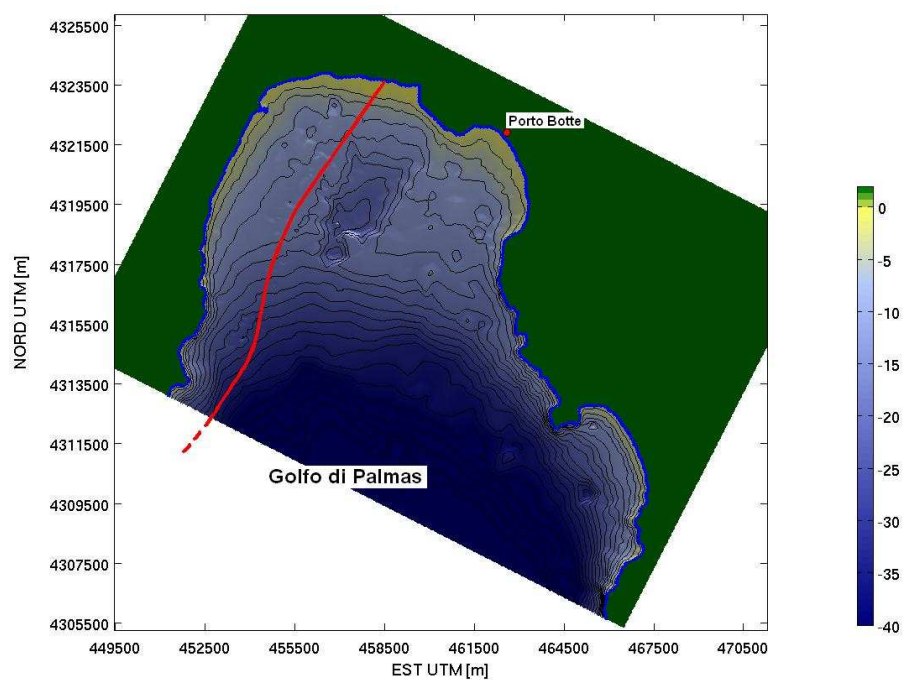


FIG. 2.1 - APPRODO DI PORTO BOTTE: AREA DI STUDIO – GRIGLIE DI CALCOLO



Sono riportate le isobate a partire da -5 m con passo -5 m

FIG. 2.2 - APPRODO DI PORTO BOTTE: AREA DI STUDIO – BATIMETRIA

3. DATI DI INPUT

Nel seguito si descrivono in maniera sintetica i dati di input (condizioni meteo-marine, parametri geotecnici e ingegneristici) utilizzati per la simulazione delle attività di scavo e riempimento del corridoio di posa della condotta.

3.1 Condizioni meteo-marine simulate

La definizione delle condizioni meteo-marine da simulare è stata effettuata sulla base dei dati e delle informazioni disponibili, considerando le analisi del clima meteo-marino locali precedentemente effettuate nell'ambito del Progetto Galsi (vedi rapporti [rif. 2-3-4]).

Non potendo conoscere a priori le date di realizzazione delle opere, si è scelto in questa fase di simulare le condizioni meteo-marine più probabili e critiche, ai fini dell'impatto delle attività sulla prateria, che si potrebbero verificare durante la realizzazione dell'opera. Considerando che le attività non verranno eseguite nella stagione turistica (estate), si è scelto di simulare tre ipotetici scenari, uno per ciascuna stagione: autunno, inverno e primavera.

Allo scopo di effettuare una stima della dinamica litoranea che si verifica nello stato attuale, e quindi indipendentemente dalle operazioni di posa della condotta, è stato stimato il trasporto solido potenziale (in sospensione e sul fondo) e l'evoluzione media dei fondali indotti dalle mareggiate tipiche che caratterizzano ciascuna delle tre stagioni considerate, mediante l'applicazione di un modello morfodinamico.

A titolo di esempio, in **Tab. 3.1** sono riportate le caratteristiche (in termini di altezza d'onda significativa H_s , periodo di picco T_p , direzione e durata di ciascun stato di mare) della mareggiata tipica invernale.

Hs (m)	Tp (s)	Dir (°N)	Durata (ore)
2.0	8.0	151	3
3.5	10.0	151	3
5.0	12.0	151	3
3.5	10.0	151	6
2.0	8.0	151	6
Totale			21

TAB. 3.1 - CARATTERISTICHE DELLA MAREGGIATA TIPICA INVERNALE

Per la simulazione delle condizioni di progetto, ciascuno scenario è stato forzato esclusivamente dal ciclo di marea locale e dall'azione del vento medio stagionale, assumendo che:

- l'assenza di correnti intense comporti una più lenta dispersione della nuvola di sedimenti sospesi e quindi tempi di permanenza più lunghi, con conseguente maggiore impatto sulle biocenosi circostanti;
- i mezzi utilizzati operino in assenza di mareggiate efficaci in termini di trasporto solido.

I risultati delle simulazioni effettuate nelle condizioni di progetto sono stati poi più correttamente interpretati sulla base dei risultati delle simulazioni effettuate nello stato attuale, tenendo quindi conto dell'azione delle onde tipiche stagionali.

Per una più completa descrizione degli scenari simulati si rimanda al rapporto **RPBO**.

3.2 Tecniche di dragaggio e volumi dragati

La metodologia proposta prevede l'utilizzo di tre differenti tecniche di scavo (*pre-trenching*, *post-trenching con back-fill contemporaneo* e *standard post-trenching*), la cui applicazione è differenziata a seconda della zona di intervento. Per una più completa descrizione delle operazioni di dragaggio simulate, si rimanda al rapporto **RPBO**.

In **Tab. 3.2** sono riportate le caratteristiche di massima della trincea di scavo e i corrispondenti volumi dragati in prossimità dell'approdo di Porto Botte. L'area interessata dalla presenza di *Posidonia Oceanica* è confinata approssimativamente tra il KP 273.0 e il KP 284.1. Le sezioni di scavo sono state progettate per ridurre il più possibile i volumi di sedimento dragati e, di conseguenza, i volumi che potenzialmente possono andare in sospensione.

	KP	KP	KP	KP	Copertura TOP [m]	Sezione scavo [m ³ /m]	Superficie interessata [m ² /m]
Presenza di <i>Posidonia Oceanica</i>	284.05	273.04					
Pre-trench	284.82	284.02			2.5 (doppia linea)	92	44
Post-trench con back-fill contemporaneo	284.02	268.90	284.02	283.62	2.0 (doppia linea)	42	23
			283.62	268.90	2.0	21	11.5
Post-trench	268.90	266.90			0.3 (no back-fill)	6	6

TAB. 3.2 - METODOLOGIE OPERATIVE E CONSEGUENTI VOLUMI DI SCAVO

Il calcolo della portata massica W (kg/s) di sedimenti in sospensione rilasciati durante le operazioni di dragaggio e back-fill viene eseguito mediante la formulazione di Hayes e Wu, 2001 [rif. 5] riportata nel seguito:

$$W = \rho_s \frac{R f Q_s}{3600}$$

dove ρ_s è la densità del materiale solido, assunta pari a circa 2650 kg/m³, f è la percentuale di materiale fine (diametro $d_{50} \leq 63 \mu m$, scala di Udden-Wentworth) che può rimanere in sospensione, Q_s è la quantità di solidi dragati (m³/ora) e R è la percentuale di sedimento soggetto a risospensione. Tale percentuale durante le operazioni meccaniche di *pre-trenching* viene assunta pari al 9 %, secondo le indicazioni suggerite da Palermo *et al.* 2008, (U.S.A.C.E., [rif. 6]). Nel caso del *post-trenching con back-fill contemporaneo* si stima invece, secondo quanto suggerito dal Committente, che il materiale disperso sia il 50 % di quello dragato.

In **Tab. 3.3** vengono riportati i valori di Q_s sia per le operazioni di *pre-trenching*, sia per quelle di *post-trenching con back-fill contemporaneo* e sia per quelle di *post-trenching*.

TECNICA DI SCAVO	Quantità di solidi [m ³ /h]	Quantità di miscela [m ³ /h]
<i>Pre-trenching</i>	100	-
<i>Post-trenching con back-filling contemporaneo</i>	900	6000
<i>Post-trenching</i>	650	4350

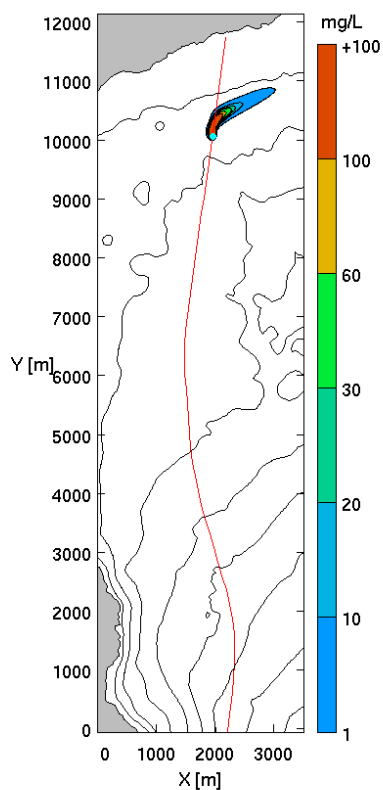
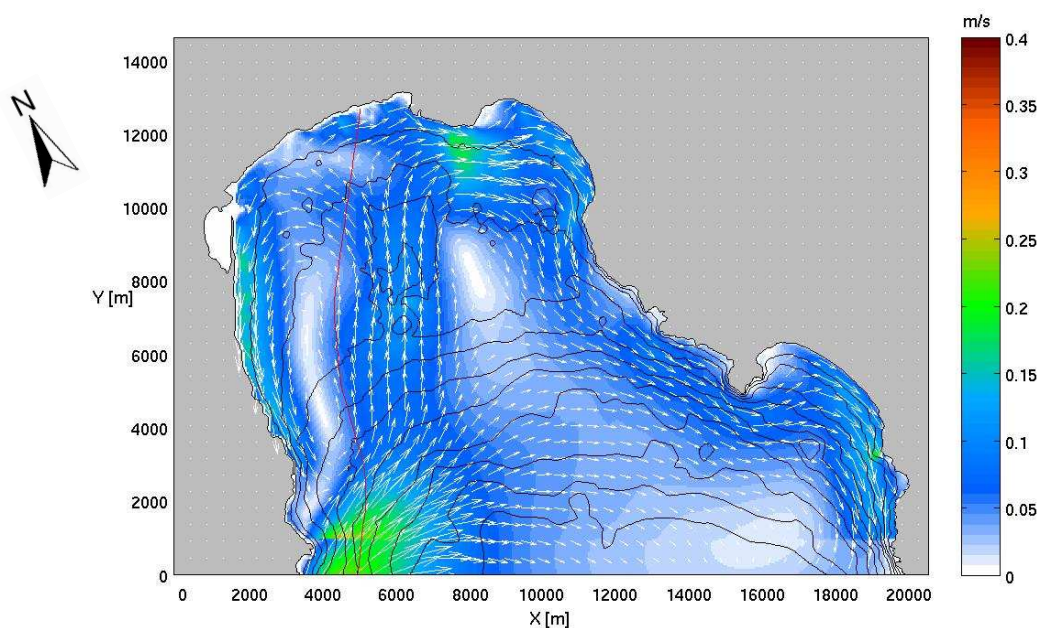
TAB. 3.3 - RATE DI AVANZAMENTO (m³/hr) DELLE ATTIVITA' DI DRAGAGGIO

4. PRESENTAZIONE DEI RISULTATI

Nella seguente sessione vengono riportati i risultati più significativi delle simulazioni effettuate. Lo scenario di riferimento per tutti i risultati è quello invernale (i.e. Dicembre-Gennaio-Febbraio). Per una più completa descrizione dei risultati, comprensivi di tutti gli scenari simulati, si rimanda al rapporto **RPBO**.

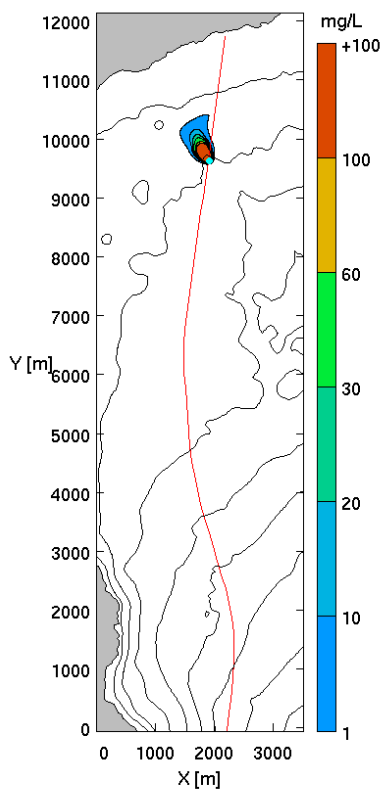
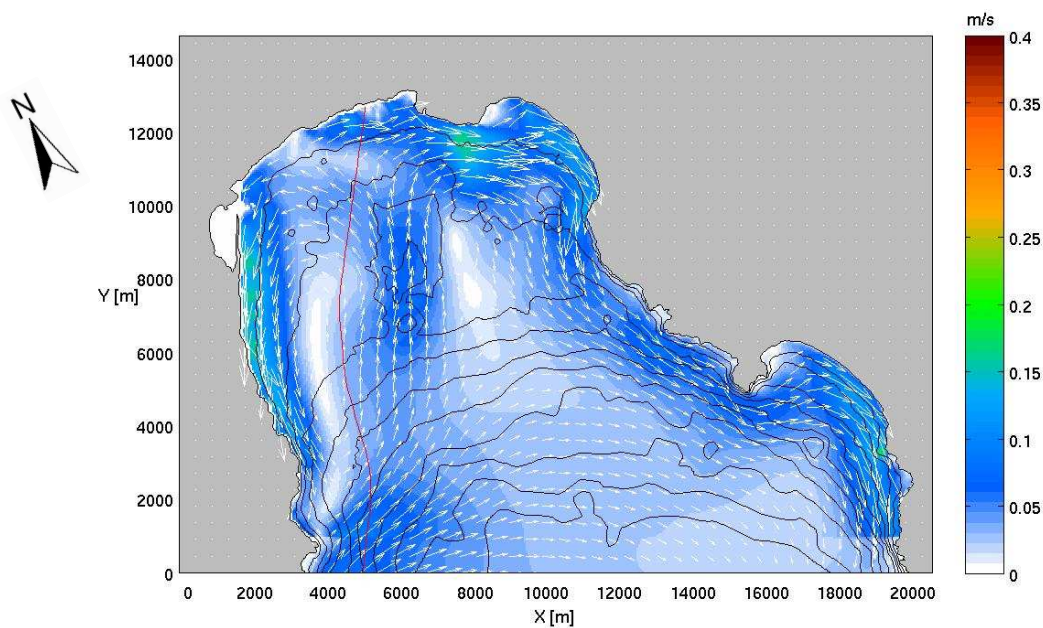
Mediante il modello DREDGEM è stato simulato il rilascio sul fondo dei volumi di materiale che vanno in sospensione, e che vengono quindi trasportati dalla corrente locale. La sorgente di materiale ovviamente è mobile, e si sposta con una velocità pari alla velocità di avanzamento del dragaggio, determinata dalla tecnica di scavo utilizzata (si veda **Tab. 3.2**). Nelle **Figg. 4.1-4.2** sono riportati, a titolo di esempio, il campo idrodinamico e il campo di concentrazione a due istanti diversi durante le operazioni di dragaggio simulate. La **Fig. 4.1** si riferisce alla fase di corrente di marea crescente, mentre in **Fig. 4.2** è riportata la fase decrescente della marea.

In tutte le figure è riportato anche il tracciato del gasdotto in progetto (linea rossa).



Sono riportate le isobate a partire da -5 m di profondità con passo -5 m

FIG. 4.1 - MAREA CRESCENTE: CAMPO IDRODINAMICO (PANNELLO IN ALTO) E DI CONCENTRAZIONE (PANNELLO IN BASSO)



Sono riportate le isobate a partire da -5 m di profondità con passo -5 m

FIG. 4.2 - MAREA DECRESCENTE: CAMPO IDRODINAMICO (PANNELLO IN ALTO) E DI CONCENTRAZIONE (PANNELLO IN BASSO)

La modellazione dettagliata dei più importanti fenomeni fisici/biologici connessi all'attività di dragaggio e back-fill ha permesso di valutare, sia qualitativamente sia quantitativamente, la concentrazione (mg/L) di sedimenti immessi in sospensione nella colonna d'acqua e gli spessori di sedimentazione. In particolare è stata valutata l'evoluzione del pennacchio di sedimenti risospesi nello spazio e nel tempo e il conseguente impatto sulla prateria di *Posidonia Oceanica*.

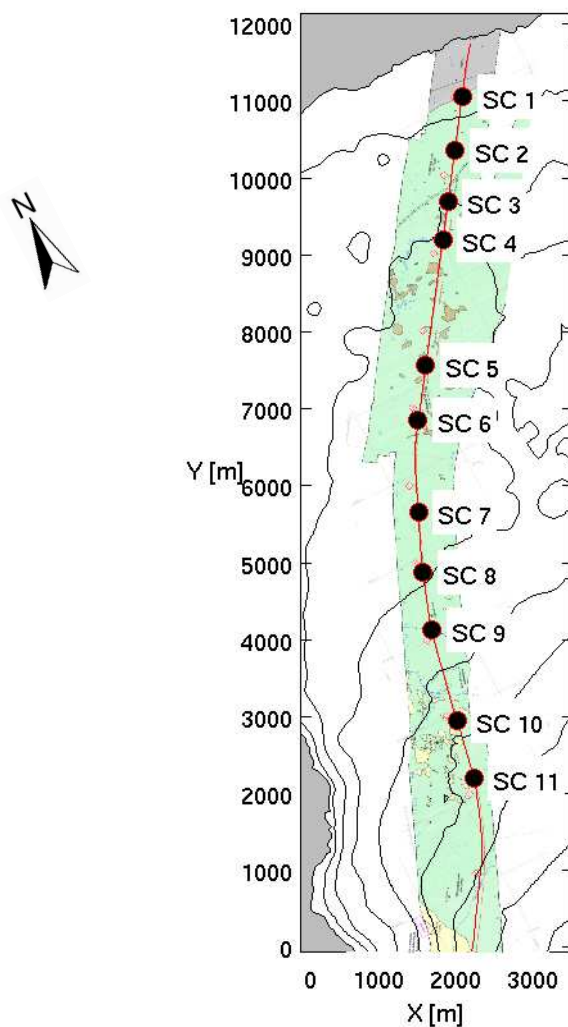
Fissate delle soglie significative di concentrazione (in mg/L) sono stati calcolati i corrispondenti tempi di permanenza (in ore) nell'area di studio. Le soglie scelte sono: 1, 2, 5, 10 e 20 mg/L. Si ritiene opportuno sottolineare i seguenti aspetti:

- i valori di concentrazione (Total Suspended Solids, TSS) sono tutti da intendersi in termini relativi allo stato attuale e non assoluti, ovvero rappresentano l'incremento di solidi sospesi dovuto alle operazioni di dragaggio.
- la soglia di 2 mg/L può essere considerata la soglia “visibile” del pennacchio costituito dai sedimenti: ovviamente tale condizione di “visibilità” dipende strettamente dalla trasparenza attuale delle acque;
- secondo le indicazioni del CIBM, la soglia di 10 mg/L può rappresentare una soglia critica per la *Posidonia*, in termini di trasparenza delle acque.

Nelle **Figg. 4.4-4.8** vengono riportate le mappe dei tempi di permanenza (in ore) delle diverse soglie di concentrazione relativa alla situazione attuale. Nelle stesse figure viene riportata anche la mappa che individua l'area, in prossimità della condotta, in cui è presente *Posidonia Oceanica* secondo i dati forniti dal Committente.

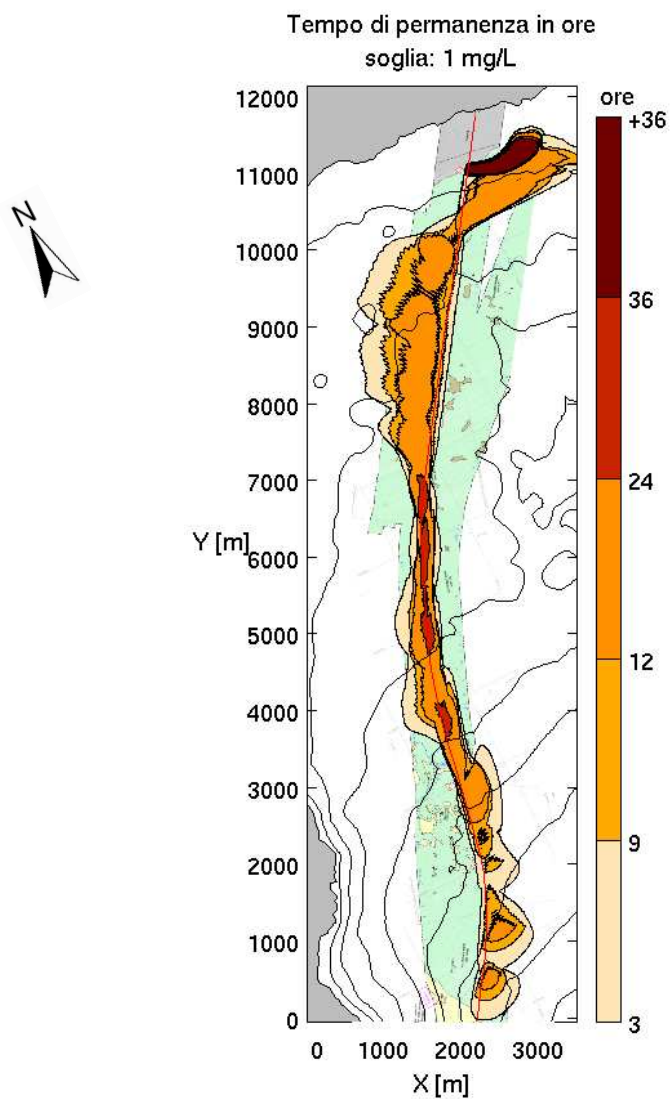
A ciascuna figura fa seguito una tabella che ha lo scopo di quantificare i risultati in prossimità dei punti significativi di campionamento della *Posidonia Oceanica* (vedi **Fig. 4.3**) e in un raggio variabile tra i 20 e i 500 m intorno al tracciato. Per maggiori dettagli relativi a tali punti si rimanda al rapporto “**Piano di Caratterizzazione della *Posidonia Oceanica* nelle località di Porto Botte e Le Saline, in Sardegna, e nella loc. Torre del Sale in Toscana. Loc.Porto Botte**”, Rev.1 del 20/10/2009, [rif. 7].

Infine in **Fig. 4.9** e in **Tab. 4.6** vengono mostrati i risultati relativi agli spessori di sedimentazione del materiale disperso a seguito delle attività di dragaggio e back-fill. Per una corretta interpretazione di quest'ultimi risultati è necessario considerare anche il trasporto solido potenziale indotto, nella condizione attuale, dalla mareggiata tipica invernale (vedi **Tab. 3.1**). I risultati relativi al trasporto solido potenziale indotto dalla mareggiata tipica stagionale sono mostrati in **Fig. 4.10** in termini del potenziale accumulo e/o erosione del fondale.



Sono riportate le isobate a partire da -5 m di profondità con passo -5 m

FIG. 4.3 - PUNTI DI CAMPIONAMENTO UTILIZZATI NELLE TABELLE E
ESTENSIONE DELLA PRATERIA DI *POSIDONIA OCEANICA*

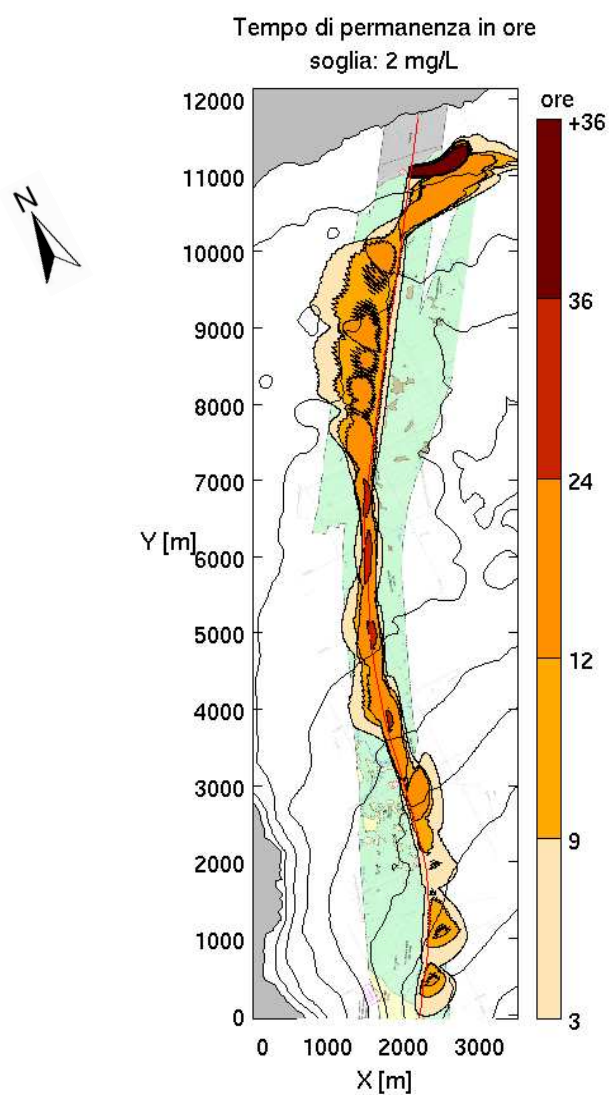


Sono riportate le isobate a partire da -5 m di profondità con passo -5 m

FIG. 4.4 - TEMPI DI PERMANENZA IN ORE PER LA SOGLIA 1 mg/L

Soglia: 1 mg/L	TEMPO DI PERMANENZA IN ORE																									
Punto di Campionamento	Distanza dalla rotta [m]																									
	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400	420	440	460	480	500
SC 1	37.2	49.8	63.2	67.4	72.4	75.0	82.4	84.8	91.1	96.5	99.7	104.1	108.9	110.0	110.0	111.0	111.0	111.0	112.0	112.0	111.1	112.0	111.5	110.3	108.2	106.1
SC 2	17.0	17.7	17.0	16.0	16.0	15.0	14.0	14.0	13.0	13.0	11.0	9.4	2.9													
SC 3	11.0	11.0	12.0	12.0	13.0	12.6	12.4	12.0	12.0	13.0	12.5	12.0	12.4	13.0	13.0	13.0	12.0	12.9	13.0	13.0	12.0	12.0	12.0	12.6	12.0	12.0
SC 4	8.0	9.0	9.0	10.0	10.0	11.0	11.0	12.0	12.0	12.0	12.9	12.2	12.0	12.2	13.0	13.0	13.0	13.0	12.0	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0	12.0	12.0
SC 5	12.0	13.0	14.0	14.5	15.0	15.3	15.0	15.0	15.0	16.0	15.4	15.0	15.0	15.0	14.0	14.0	14.0	13.4	13.0	13.0	13.0	11.6	11.0	11.0	10.0	10.0
SC 6	29.2	30.0	29.0	23.0	19.2	18.2	16.2	14.4	11.8	2.6																
SC 7	24.0	24.0	23.4	22.0	21.0	17.0	10.2	8.0	6.0	5.0	4.0	3.5	3.0	2.0	1.0											
SC 8	26.0	26.0	25.0	24.0	23.0	21.0	18.0	18.0	15.0	15.0	13.0	12.0	10.0	5.0	5.0	4.0	3.0	3.0	2.0	1.0						
SC 9	21.0	21.0	21.7	21.0	21.2	21.0	19.0	16.2	13.8	13.0	12.0	11.5	11.0	9.6	9.0	8.0	8.0	7.0	6.8	5.0	5.0	5.0	4.0	3.0	2.0	1.8
SC 10	12.0	13.0	14.2	15.0	16.6	17.0	18.0	18.0	19.0	18.0	17.0	17.0	16.0	15.0	15.0	14.1	13.2	12.0	9.6	8.0	6.0	5.0	4.2	4.0	3.0	2.0
SC 11	10.3	9.4	10.0	10.0	10.0	11.0	10.0	10.0	9.2	8.0	7.4	7.0	6.0	6.0	5.0	5.0	4.0	4.0	3.0	3.0	2.0					

TAB. 4.1 - TEMPI DI PERMANENZA IN ORE PER LA SOGLIA 1 mg/L NEI PUNTI DI CAMPIONAMENTO SIGNIFICATIVI DELLA POSIDONIA E IN PROSSIMITA' DI ESSI

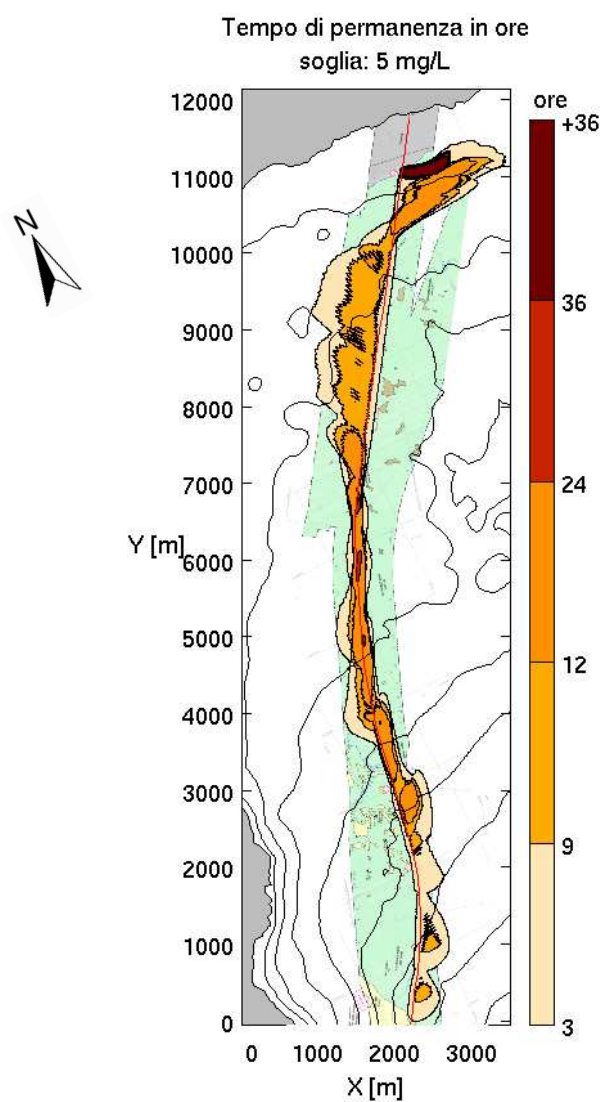


Sono riportate le isobate a partire da -5 m di profondità con passo -5 m

FIG. 4.5 - TEMPI DI PERMANENZA IN ORE PER LA SOGLIA 2 mg/L

Soglia: 2 mg/L	TEMPO DI PERMANENZA IN ORE																									
Punto di Campionamento	Distanza dalla rotta [m]																									
	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400	420	440	460	480	500
SC 1	28.4	45.4	56.6	65.2	69.2	73.0	75.1	78.2	83.1	88.0	92.2	94.9	100.1	104.4	108.0	109.6	111.0	111.0	111.0	109.7	108.6	108.0	106.2	102.7	96.0	90.7
SC 2	17.0	16.3	16.0	16.0	15.0	14.4	13.0	13.0	12.8	11.2	10.0	4.8														
SC 3	10.0	11.0	11.0	11.6	11.2	11.6	11.0	11.0	12.0	12.0	11.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	11.0	11.1	12.0	11.6	11.0	11.0	10.5	
SC 4	8.0	8.0	9.0	9.0	10.0	10.0	10.2	11.0	11.0	10.4	11.0	11.0	11.1	12.0	12.0	12.0	11.0	11.0	12.0	12.0	12.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0
SC 5	10.4	12.0	13.0	14.0	14.0	14.6	14.0	14.0	15.0	14.8	14.0	14.0	14.0	13.2	13.0	13.0	13.0	12.0	12.0	12.0	11.0	10.2	9.9	9.0	9.0	8.0
SC 6	26.0	28.0	27.9	21.0	19.0	17.2	16.0	13.2	4.6																	
SC 7	23.0	23.0	21.0	21.0	18.0	16.0	8.2	5.4	4.0	3.0	2.0															
SC 8	25.0	24.9	24.0	23.6	22.0	19.6	16.0	14.8	14.0	12.6	10.8	6.0	5.0	5.0	3.0	3.0	3.0	1.2	1.0							
SC 9	16.9	17.0	16.1	16.0	16.0	17.0	16.8	12.2	12.0	10.0	10.1	9.0	8.0	8.0	7.0	7.0	6.0	6.0	5.0	4.0	3.8	3.0	2.4	2.0		
SC 10	11.0	12.0	12.7	14.0	14.4	15.0	16.0	17.0	17.0	18.0	17.0	16.0	16.0	15.0	15.0	12.0	12.0	9.0	7.7	6.0	5.0	4.0	4.0	3.0	2.0	1.0
SC 11	8.3	9.2	9.0	10.0	10.0	9.1	9.0	9.0	7.0	7.0	6.4	5.2	5.0	4.2	4.0	3.0	3.0	1.8								

TAB. 4.2 - TEMPI DI PERMANENZA IN ORE PER LA SOGLIA 2 mg/L NEI PUNTI DI CAMPIONAMENTO SIGNIFICATIVI DELLA POSIDONIA E IN PROSSIMITA' DI ESSI

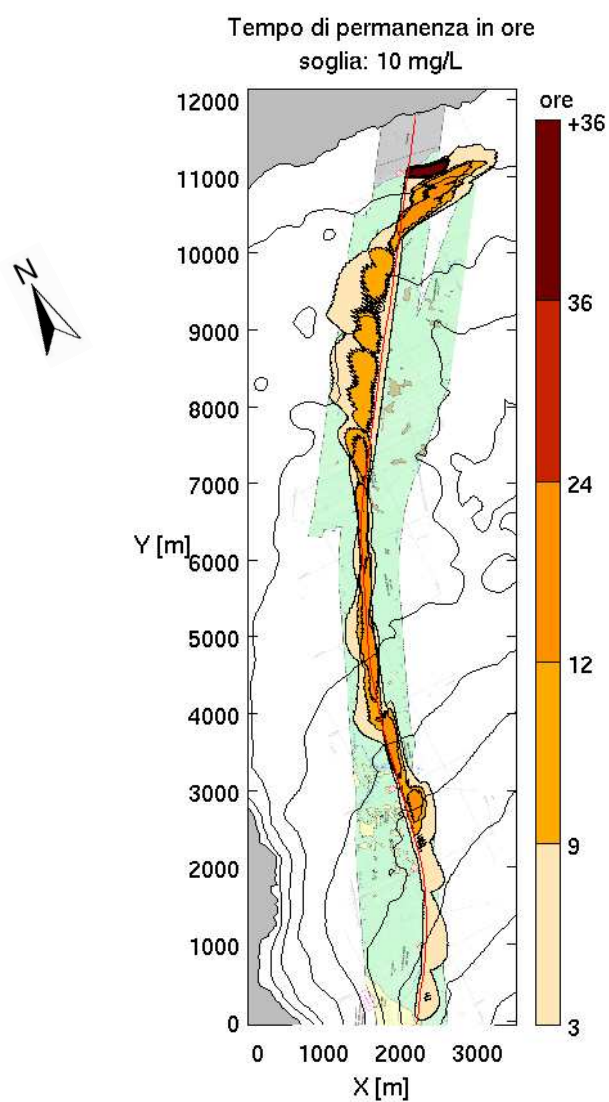


Sono riportate le isobate a partire da -5 m di profondità con passo -5 m

FIG. 4.6 - TEMPI DI PERMANENZA IN ORE PER LA SOGLIA 5 mg/L

Soglia: 5 mg/L	TEMPO DI PERMANENZA IN ORE																									
Punto di Campionamento	Distanza dalla rotta [m]																									
	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400	420	440	460	480	500
SC 1	24.0	37.6	46.2	55.2	61.4	67.0	69.5	71.6	73.0	75.4	80.0	83.4	86.8	88.1	91.2	94.9	97.6	100.8	103.4	100.3	96.5	94.1	86.5	81.1	73.1	62.7
SC 2	16.0	16.0	15.0	15.0	14.0	13.0	13.0	12.0	10.8	10.0																
SC 3	8.0	9.0	9.0	10.0	9.2	10.0	10.0	10.0	11.0	10.0	10.0	11.0	11.0	11.0	10.0	11.0	11.0	10.6	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	9.0	9.0	8.8
SC 4	7.0	7.8	8.0	8.1	9.0	9.0	9.5	9.0	9.0	9.4	10.0	10.0	10.0	10.6	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	9.4	9.0
SC 5	9.0	10.0	11.2	12.0	12.8	12.4	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0	12.0	12.0	12.0	11.2	11.0	11.0	9.2	9.0	8.9	8.0	7.9	6.0	5.6	3.6
SC 6	23.0	25.0	21.0	19.2	18.0	16.0	13.4	4.4																		
SC 7	22.0	22.0	20.0	19.0	17.0	11.0	6.0	3.0																		
SC 8	22.6	23.0	23.0	21.0	20.4	15.0	14.3	12.0	9.2	6.0	6.0	5.0	4.0	3.0	3.0	1.7	1.0	1.0								
SC 9	11.9	12.0	12.0	11.9	11.6	11.0	10.0	9.0	9.2	8.8	8.0	7.0	6.9	6.0	5.4	5.0	4.4	4.0	3.8	2.0						
SC 10	10.0	10.0	10.0	11.0	13.0	14.0	13.4	14.0	14.8	15.0	15.4	16.0	14.0	12.5	11.0	8.9	8.0	6.4	5.0	4.0	3.0	2.0	2.0	1.0		
SC 11	8.3	8.2	8.8	8.8	8.0	8.0	8.0	6.0	6.0	5.6	4.0	4.0	3.0	2.0												

TAB. 4.3 - TEMPI DI PERMANENZA IN ORE PER LA SOGLIA 5 mg/L NEI PUNTI DI CAMPIONAMENTO SIGNIFICATIVI DELLA POSIDONIA E IN PROSSIMITA' DI ESSI

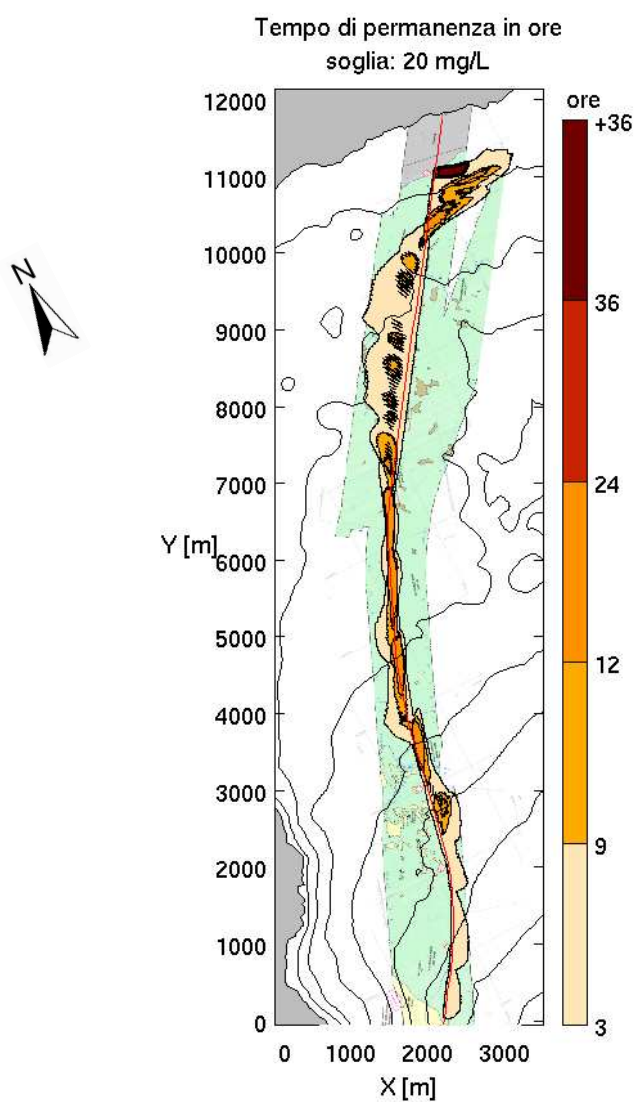


Sono riportate le isobate a partire da -5 m di profondità con passo -5 m

FIG. 4.7 - TEMPI DI PERMANENZA IN ORE PER LA SOGLIA 10 mg/L

Soglia: 10 mg/L	TEMPO DI PERMANENZA IN ORE																									
Punto di Campionamento	Distanza dalla rotta [m]																									
	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400	420	440	460	480	500
SC 1	20.6	28.0	38.0	46.6	52.8	61.0	63.1	65.0	67.9	71.1	73.1	77.3	78.4	78.9	81.4	82.0	80.8	80.6	78.6	77.2	71.6	70.2	62.6	51.8	34.7	16.3
SC 2	14.5	15.0	15.0	14.0	13.0	12.0	12.0	10.4	9.0	4.8																
SC 3	7.0	8.0	9.0	8.6	8.8	9.0	9.0	10.0	9.4	9.0	9.9	10.0	10.0	9.0	10.0	10.0	9.0	9.0	9.0	8.9	9.0	8.2	8.0	7.8	7.0	6.9
SC 4	6.5	7.0	7.0	7.9	7.8	7.5	8.0	8.0	8.2	9.0	9.0	9.0	8.1	8.8	9.0	9.0	9.0	8.0	8.0	8.6	9.0	9.0	8.0	8.0	8.0	8.0
SC 5	8.0	9.0	10.0	10.9	10.8	11.0	12.0	12.0	11.0	12.0	12.0	11.0	11.0	11.0	10.1	10.0	10.0	8.0	8.0	7.0	6.3	5.0	3.0			
SC 6	22.0	22.0	20.0	18.0	16.4	14.2	5.8																			
SC 7	21.0	20.4	19.0	18.0	15.0	7.0	5.0																			
SC 8	19.0	22.0	21.0	20.0	14.9	12.0	7.8	7.0	6.0	6.0	5.0	4.0	3.0	3.0	1.0	1.0										
SC 9	11.0	11.0	10.6	11.0	10.0	9.0	8.0	8.8	8.0	7.0	6.0	5.8	5.0	4.0	4.0	2.9	1.4									
SC 10	9.0	9.4	9.0	9.8	9.0	11.0	12.0	12.0	12.0	12.0	10.5	10.4	10.5	9.2	8.0	6.5	6.0	4.0	3.0	2.0	1.0					
SC 11	7.3	8.2	7.0	7.0	7.9	7.2	5.2	5.0	4.0	3.0	2.2															

TAB. 4.4 - TEMPI DI PERMANENZA IN ORE PER LA SOGLIA 10 mg/L NEI PUNTI DI CAMPIONAMENTO SIGNIFICATIVI DELLA POSIDONIA E IN PROSSIMITA' DI ESSI

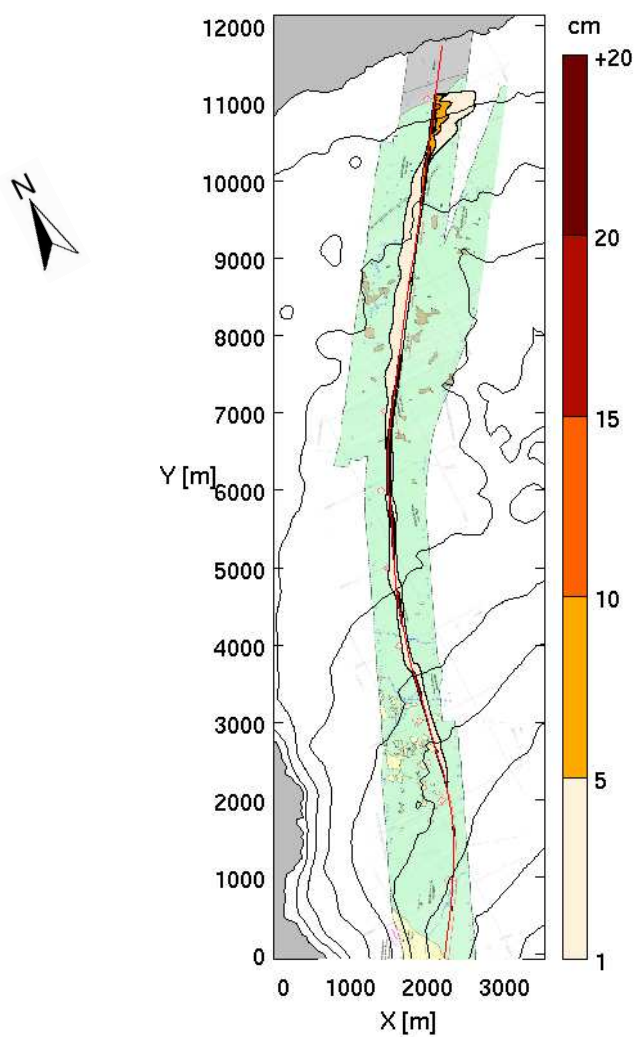


Sono riportate le isobate a partire da -5 m di profondità con passo -5 m

FIG. 4.8 - TEMPI DI PERMANENZA IN ORE PER LA SOGLIA 20 mg/L

Soglia: 20 mg/L	TEMPO DI PERMANENZA IN ORE																									
Punto di Campionamento	Distanza dalla rotta [m]																									
	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400	420	440	460	480	500
SC 1	17.8	26.6	34.0	37.8	43.0	48.0	51.6	52.0	56.5	55.4	58.2	59.0	60.3	61.5	62.8	63.1	61.4	60.8	55.0	43.4	25.9	14.5	5.0	5.3	6.0	6.0
SC 2	13.1	14.0	14.0	12.6	12.0	11.3	11.0	9.0	6.4																	
SC 3	7.0	7.0	8.0	7.0	8.0	8.0	9.0	9.0	8.0	8.8	9.0	9.0	8.0	8.6	9.0	8.0	8.0	7.1	7.0	7.4	7.0	6.2	6.0	5.0	5.0	4.0
SC 4	5.2	5.8	6.2	6.0	6.8	7.0	7.0	7.0	8.0	8.0	7.0	7.0	7.4	8.0	8.0	7.0	7.0	7.0	7.0	6.4	6.0	6.4	6.0	6.1	5.0	5.2
SC 5	7.0	7.6	8.2	8.1	9.0	10.0	10.2	10.0	10.0	10.2	10.0	10.0	10.0	9.0	8.1	7.2	7.0	5.8	4.4	2.4						
SC 6	17.6	20.2	19.0	17.0	13.1	7.4																				
SC 7	19.0	19.0	18.0	17.0	13.0	6.0	4.0																			
SC 8	16.0	19.4	19.6	15.0	10.3	7.0	7.0	6.0	5.8	4.0	4.0	3.0	2.0	1.0	1.0											
SC 9	9.9	9.2	10.0	9.7	9.0	8.0	8.0	7.0	6.0	5.0	4.0	4.0	2.9	1.0												
SC 10	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	7.8	7.0	6.0	5.0	4.0	3.6	3.0	1.0	1.0											
SC 11	6.0	6.2	6.2	7.0	6.7	5.0	4.0	3.0	2.0																	

TAB. 4.5 - TEMPI DI PERMANENZA IN ORE PER LA SOGLIA 20 mg/L NEI PUNTI DI CAMPIONAMENTO SIGNIFICATIVI DELLA POSIDONIA E IN PROSSIMITA' DI ESSI

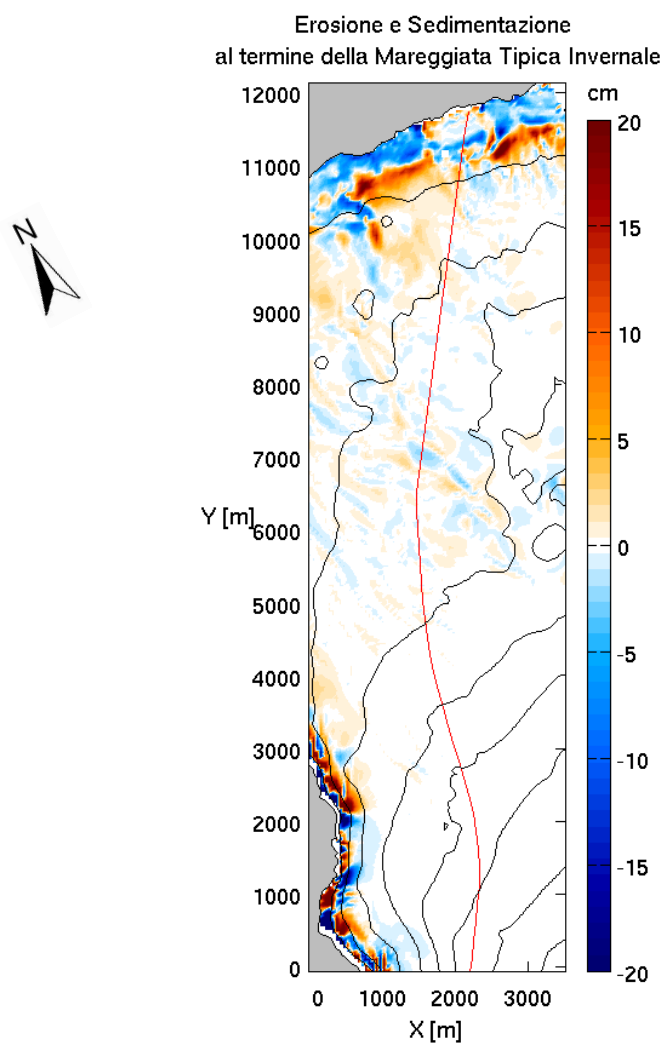


Sono riportate le isobate a partire da -5 m di profondità con passo -5 m

FIG. 4.9 - SEDIMENTAZIONE AL TERMINE DEL DRAGAGGIO E BACK-FILL [cm]

SEDIMENTAZIONE [cm]																										
Punto di Campionamento	Distanza dalla rotta [m]																									
	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400	420	440	460	480	500
SC 1	3	6	7	6	5	5	4	4	4	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1
SC 2	6	13	9	5	3	1	1																			
SC 3	5	4	3	3	2	2	1	1	1	1	1	1	1													
SC 4	3	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1											
SC 5	6	4	3	2	2	1	1	1	1	1	1															
SC 6	8	6	2	1	1																					
SC 7	10	11	5	2	1																					
SC 8	4	3	2	2	1	1	1																			
SC 9	4	2	1	1	1																					
SC 10	2	2	2	1	1	1																				
SC 11	1	1	1																							

TAB. 4.6 - SEDIMENTAZIONE AL TERMINE DEL DRAGAGGIO E BACK-FILL [cm]



Sono riportate le isobate a partire da -5 m di profondità con passo -5 m

FIG. 4.10 - MASSIMA EROSIONE E SEDIMENTAZIONE SUI FONDALI AL TERMINE DELLA MAREGGIATA TIPICA INVERNALE [cm]

5. DISCUSSIONE DEI RISULTATI

Il campo idrodinamico forzato dalla marea e dal vento nel Golfo di Palmas è caratterizzato dalla presenza di due grosse celle di circolazione, l'una che ruota in senso antiorario (ad ovest) e l'altra in senso orario (ad est), sia in fase di marea crescente (**Fig. 4.1**) che in fase di marea decrescente (**Fig. 4.2**). In prossimità della zona di dragaggio, nella zona al largo, la corrente fluisce parallelamente alla condotta. Muovendosi verso riva la corrente dapprima fluisce verso nord in direzione perpendicolare alla costa per poi intensificarsi e disporsi in direzione longitudinale (verso est). Le intensità sono generalmente modeste, dell'ordine dei 5-10 cm/s, e assumono i valori maggiori in fase di marea crescente. Questo influenza l'estensione e l'orientazione del pennacchio di sedimenti in sospensione che si sviluppa durante le operazioni di dragaggio e back-fill contemporaneo, come si osserva dai pannelli in basso di entrambe le **Figg. 4.1 - 4.2**.

Osservando i grafici e le tabelle dei tempi di permanenza delle soglie di concentrazione relative allo stato attuale, (**Figg. 4.4 - 4.8** e **Tabb. 4.1 - 4.5**) è evidente che i tempi di permanenza maggiori si hanno nella porzione iniziale (procedendo da costa verso il largo) del corridoio in cui viene adottata la tecnica del *pre-trenching*, che avendo dei tempi esecutivi molto lenti (si veda **Tab. 3.3**), favorisce l'accumulo di una maggior quantità di materiale sospeso nella stessa area, malgrado la presenza di correnti più intense che inducono il pennacchio a orientarsi parallelamente alla costa. Dalle stesse figure e tabelle è evidente poi che lungo la restante parte della condotta interessata dalla presenza di *Posidonia Oceanica*, i tempi di permanenza di ciascuna soglia si riducono muovendosi verso il largo, ad eccezione della zona 'centrale' (compresa tra 12-20 m di profondità) in cui la corrente, particolarmente debole, determina una più lenta dispersione del sedimento in sospensione. E' comunque evidente che considerata i) la debole circolazione indotta dalla marea e dal vento nell'area di dragaggio e ii) la presenza piuttosto consistente di materiale molto fine (diametro $d_{50} \leq 63 \mu m$), per ciascuna soglia di concentrazione (TSS) relativa allo stato attuale, i tempi di permanenza sono generalmente dell'ordine delle 12-24 ore, interessando aree piuttosto estese nelle adiacenze della condotta, sino anche a 250-400 m di distanza dalla trincea di scavo. I valori maggiori si registrano comunque in prossimità del primo punto di campionamento, **SC1**, in cui, per le soglie inferiori (1 e 2 mg/L) di concentrazione relativa si hanno tempi di permanenza dell'ordine delle 90-100 ore anche a 500 m di distanza dalla condotta. Tali tempi si riducono per le soglie di concentrazione relativa maggiori (10-20 mg/L)

Guardando i risultati relativi alla sedimentazione del materiale sospeso al termine delle attività, **Fig. 4.9** e **Tab. 4.6**, si può osservare che la maggior parte di esso sedimenta in prossimità della condotta. I valori massimi sono dell'ordine dei 15-20 cm, in un raggio di pochi metri dalla condotta stessa e in particolare nella porzione più vicina a costa. Muovendosi verso il largo, dove le correnti più intense inducono una maggiore dispersione dei sedimenti, gli spessori di sedimentazione si riducono notevolmente. Infine, lo studio del trasporto potenziale (sul fondo e in sospensione) indotto dalla mareggiata tipica invernale (**Fig. 4.10**), evidenzia che l'evoluzione dei fondali indotta nell'intera area attraversata dal tracciato della condotta è caratterizzata, nello stato attuale, da scarsa movimentazione del sedimento. I valori maggiori di sedimentazione e deposito ($O(\sim \pm 20 \text{ cm})$) si riscontrano ovviamente sottocosta, per profondità inferiori a 5 m, dove le correnti indotte dal frangimento delle onde sono maggiori. Tale risultato è da considerarsi del tutto ragionevole, considerata la presenza di *Posidonia Oceanica* sui fondali. Si può quindi

concludere che, ad eccezione della zona compresa tra la riva e i 5 m di profondità dove il sedimento può venire rimosso e ridistribuito nelle aree adiacenti per azione delle onde tipiche stagionali, gli spessori di materiale che si depositano sul fondo al termine della operazioni di dragaggio e back-fill indicati in **Fig. 4.9** e **Tab. 4.6** possono considerarsi effettivi, in quanto scarsamente influenzati dalle mareggiate tipiche della stagione considerata. Si consideri comunque che, nella stagione invernale, le condizioni di moto ondoso tali da movimentare i sedimenti depositatisi sul fondo hanno una frequenza di circa il 12.7 % (**[rif. 3]**) che in tre mesi corrisponde a 11.5 giorni (mediamente circa un giorno alla settimana).

Concludendo, data la complessità dei fenomeni fisici simulati, per una migliore interpretazione dei risultati ottenuti e, soprattutto, per una ottimale pianificazione delle operazioni volte alla mitigazione dell'impatto, si consiglia la programmazione di un attento piano di monitoraggio durante la realizzazione dei lavori.

6. BIBLIOGRAFIA

1. DEAM s.r.l., 2009, *"Dispersione dei sedimenti durante le attività di dragaggio e back-fill: Porto Botte"*, 400178-PBO-GAL-EI-r0;
 2. DEAM s.r.l., 2008, *"Meteocean Study – Design Data: Algeria-Sardinia: Typical and Extreme Winds along the pipeline Routes AS5_R7&R8"*, DEAM-GD-400148-WIND-AS_R7&R8;
 3. DEAM s.r.l., 2008, *"Meteocean Study – Design Data: Algeria-Sardinia: Typical and Extreme Waves along the pipeline Routes AS5_R7&R8"*, DEAM-GD-400148-WAVES-AS_R7&R8;
 4. DEAM s.r.l., 2008, *"Meteocean Study – Current AS5_R7&R8: Algeria-Sardinia: Typical and Extreme Current Velocities along the pipeline Routes AS5_R7&R8"*, DEAM-GD-400148-CURRENT-AS_R7&R8;
 5. Hayes, D., e Wu, P.Y., 2001, *"Simple approach to TSS source strength estimates"*, WEDA XXI Proceedings, Houston;
 6. Palermo, M.R., Schroeder, P.R., Trudy, J.E., e Francingues, N.R., 2008, *"Technical guidelines for environmental dredging of contaminated sediments"*, U.S.Army Corps of Engineers, ERDC/EL TR-08-29;
 7. GEOSYSTEM s.r.l., 2009, *"Piano di Caratterizzazione della Posidonia Oceanica nelle località di Porto Botte e Le Saline, in Sardegna, e nella loc. Torre del Sale in Toscana. Loc. Porto Botte"*, Revisione 1;
-