



	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17093</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 1 di 42	<b>Rev.</b> 0F

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3303-005

**EMERGENZA GAS**  
**INCREMENTO DI CAPACITÀ DI RIGASSIFICAZIONE (DL 17.05.2022, n. 50)**  
**FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti**

**STUDIO SPECIALISTICO DI IDRAULICA MARITTIMA**  
**Studio della morfodinamica nell'intorno della nuova diga e studio dell'impatto**  
**della nuova diga sulla costa**

CUP ASSEGNATO AL PROGETTO → E63F22000090007


0F	Emissione per permessi	 P. De Girolamo	 L. Nardi	 P. Russo	Sett. 2023
<b>Rev.</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Elaborato</b>	<b>Verificato</b>	<b>Approvato Autorizzato</b>	<b>Data</b>

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17093</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 2 di 42	<b>Rev.</b> 0F

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3303-005

## INDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>OBIETTIVI E METODOLOGIA DI LAVORO.</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>DATI UTILIZZATI</b>	<b>8</b>
3.1	Dati di vento	8
3.2	Dati di moto ondoso	8
3.3	Dati batimetrici di riferimento	8
<b>4</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DEL SITO DI INTERESSE</b>	<b>10</b>
<b>5</b>	<b>CONFIGURAZIONE DELLA NUOVA DIGA FORANEA</b>	<b>12</b>
<b>6</b>	<b>DEFINIZIONE DEGLI SCENARI DI MOTO ONDOSONO E DI VENTO</b>	<b>14</b>
6.1	Scenari di moto ondoso	14
6.2	Condizioni di vento da associare agli scenari di moto ondoso	16
6.3	Scenari di moto ondoso e di vento analizzati	17
6.4	Definizione delle caratteristiche sedimenti	18
<b>7</b>	<b>IMPOSTAZIONE DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE</b>	<b>19</b>
7.1	Modelli numerici utilizzati	19
7.2	Griglie di calcolo	19
7.3	Condizioni al contorno e modalità esecutive delle simulazioni	22
<b>8</b>	<b>ANALISI DELL'IMPATTO DELLA NUOVA DIGA MARITTIMA SULLA DINAMICA COSTIERA</b>	<b>24</b>
8.1	Scenari Settore I (Grecale)	24
8.2	Scenari Settore II (Scirocco)	28
8.3	Comparazione tra $H_{rms}$ e $ V $ tra stato attuale e di progetto per una sezione posizionata all'incirca lungo la batimetrica -8 m	31
<b>9</b>	<b>TRASPORTO DEI SEDIMENTI NELL'INTORNO DELLA DIGA</b>	<b>33</b>
<b>10</b>	<b>CONCLUSIONI</b>	<b>42</b>

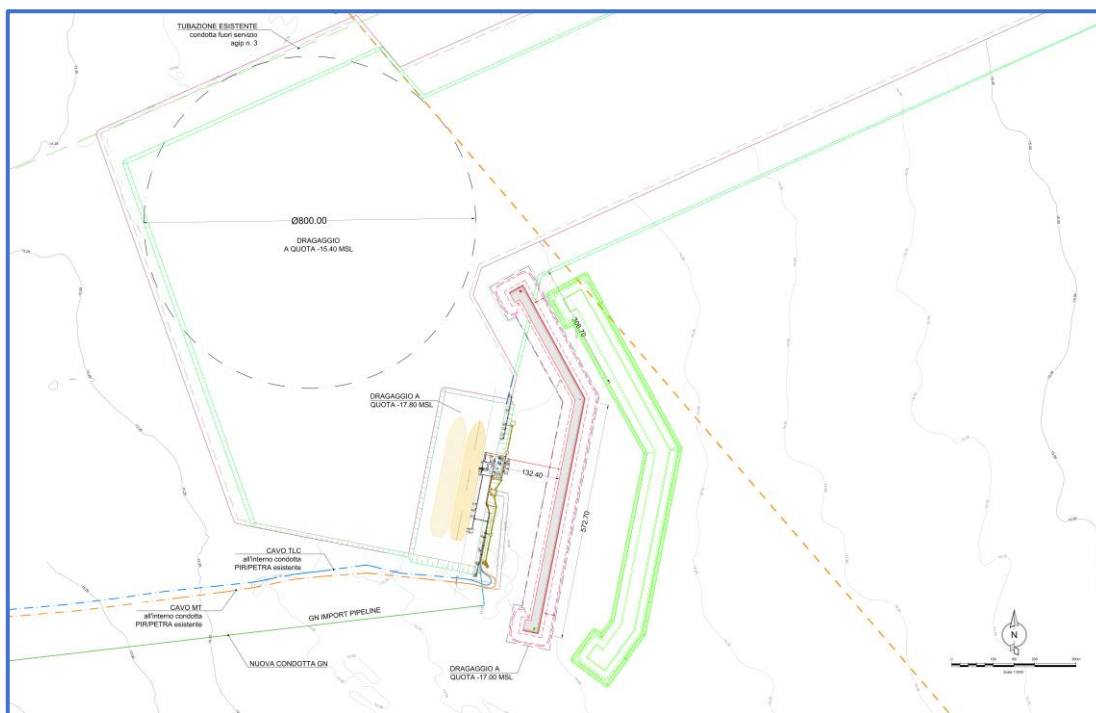
	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17093</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 3 di 42	<b>Rev.</b> 0F

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3303-005

## 1 INTRODUZIONE

Il presente studio è stato redatto alla luce delle ottimizzazioni progettuali relative al Progetto "FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti" emerse durante lo svolgimento dell'ingegneria di dettaglio ed a valle dell'Autorizzazione Unica alla costruzione ed esercizio rilasciata dal Commissario straordinario di Governo della Regione Emilia-Romagna con Decreto n.3 del 7 novembre 2022 ai sensi dell'art. 5 del D.L. 17 maggio 2022 n. 50.

In particolare, una delle ottimizzazioni riguarda la posizione della diga frangi flutti posizionata ad est della piattaforma di ormeggio della FSRU, per la quale è stato previsto un riposizionamento planimetrico avvicinandola sensibilmente alla piattaforma stessa come da stralcio planimetrico sotto riportato



In verde, in figura, è riportata la posizione della diga così come autorizzata con decreto commissariale n.3 del 7 novembre 2022, mentre con tratto rosso la posizione ottimizzata.

Per quanto riguarda le aree oggetto di interventi di dragaggi si faccia riferimento all'elaborato DIS-AMB-B-35499.

Il presente rapporto analizza il potenziale impatto dell'opera di protezione per la FSRU sulla circolazione marina e sui fondali nell'intorno della nuova diga e contestualmente prende in esame il possibile impatto della nuova diga sulla costa.

Il rapporto è stato redatto sulla base del doc. 000-ZA-E-17076 rev.0 precedentemente emesso a settembre 2022, con il quale condivide gli obiettivi e la metodologia di analisi.

Lo studio è stato curato dal punto di vista tecnico-scientifico dal Prof. Ing. Paolo De Girolamo con Modimar Project s.r.l..

Lo studio è strutturato come segue:

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17093</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 4 di 42	<b>Rev.</b> 0F

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3303-005

Nella Sezione 2 sono presentati gli obiettivi e la metodologia di lavoro

Nelle Sezioni 3, 4 e 5 sono illustrati i dati di base, l'inquadramento geografico del sito di interesse e la configurazione di progetto della nuova diga foranea e del terminale FSRU.

Nella Sezione 6 sono definiti gli scenari di moto ondoso e di vento presi in esame le simulazioni con il modello numerico.

La Sezione 7 presenta i modelli numerici utilizzati per simulare l'idrodinamica e la morfodinamica forzata dal vento e dal moto ondoso appartenenti alla suite DELFT3D-FM sviluppata da Deltares.

Nella Sezione 8 sono presentati i risultati delle simulazioni rivolte alla valutazione dell'impatto della nuova diga marittima sulla dinamica costiera.

Nella Sezione 9 sono riportati i risultati delle simulazioni rivolte alla valutazione dell'evoluzione dei fondali nell'intorno della diga.

Infine nella Sezione 10 sono riportate le conclusioni dello studio.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17093</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 5 di 42	<b>Rev.</b> 0F

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3303-005

## 2 OBIETTIVI E METODOLOGIA DI LAVORO.

L'obiettivo del presente studio è quello di definire l'impatto esercitato sulla circolazione marina e sui fondali dall'opera di protezione della zona di ormeggio della nave FSRU e della nave "carrier", la quale alimenterà l'impianto di ri-gasificazione, costituito dalla nave FSRU, mediante GNL (Gas Naturale Liquefatto).

L'opera di protezione della zona di ormeggio sarà costituita da una nuova diga marittima a parete verticale di tipo composto, la quale si comporrà di cassoni prefabbricati trasportati in galleggiamento e affondati su uno scanno di imbasamento costituito da materiale lapideo. I cassoni verranno riempiti anche con materiale proveniente dai dragaggi funzionali a garantire l'accesso in sicurezza alla zona di ormeggio delle navi. Il massiccio di coronamento, che conterrà anche il muro paraonde, verrà realizzato in opera in calcestruzzo armato.

Per effettuare il presente studio si è utilizzata la conformazione planimetrica della nuova diga foranea prevista da progetto (in seguito indicata come layout F1).

L'ormeggio della FSRU verrà realizzato in corrispondenza della esistente piattaforma offshore realizzata su pali e denominata Petra, posta a Sud-Est del Porto di Ravenna a circa 8,5 km dalla costa (punta Marina) su fondali di circa -14,0 m sul l.m.m., che verrà opportunamente modificata e riqualificata. Si osserva che la struttura di ormeggio della FSRU verrà mantenuta su pali e quindi ai fini del presente studio è stata considerata "trasparente" rispetto al moto ondoso.


Nell'impostare lo studio numerico, si è tenuto conto che la zona di potenziale impatto morfodinamico della nuova diga di protezione può coinvolgere sia la costa con la relativa spiaggia posta ad Ovest della nuova diga, sia ovviamente la zona posta in prossimità della nuova diga dove l'effetto "schermo" operato sull'idrodinamica e quindi sul trasporto solido dei sedimenti dalla nuova infrastruttura è sicuramente più sensibile. Pertanto, l'area oggetto della simulazione è risultata piuttosto vasta pari a circa 55 km x 49 km.

Per la definizione delle condizioni meteomarine oggetto delle simulazioni, si è fatto riferimento allo Studio Meteomarino al quale si rimanda per i necessari approfondimenti. Comunque, per completezza, in questo documento sono riportati i risultati dello studio meteomarino di cui ci si è serviti per condurre il presente lavoro.

Per la redazione del presente studio si è assunto che l'idrodinamica venga forzata dal vento e dal moto ondoso, ritenendo trascurabili gli effetti indotti dalle correnti generate dalla marea astronomica. Pertanto, ciascuna condizione meteomarina oggetto delle simulazioni è stata caratterizzata da:

- una condizione ondometrica individuata da: (i) una altezza d'onda significativa  $H_s$ , un periodo di picco  $T_p$  e una direzione di provenienza del moto ondoso; (ii) dalla sua frequenza di accadimento media annuale;
- un valore di velocità del vento che è stato assunto in termini di intensità compatibile con le condizioni di moto ondoso esaminate e con direzione coincidente con quella delle onde.

Per la definizione delle condizioni di moto ondoso e di vento di riferimento, si sono selezionati cinque scenari in grado di coprire sia eventi meteomarini frequenti, i quali sono potenzialmente in grado di dar luogo a fenomeni evolutivi dei fondali e delle spiagge a

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17093</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 6 di 42	<b>Rev.</b> 0F

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3303-005

*“lungo termine”* (caratterizzati da una scala temporale nell’ordine di mesi o anni), sia eventi meteorologici caratterizzati da una limitata frequenza di accadimento (rari) i quali possono essere considerati responsabili di fenomeni evolutivi dei fondali e delle spiagge a *“breve termine”* (caratterizzati da una scala temporale nell’ordine delle ore, ovvero della durata di un singolo evento estremo).

Gli scenari di riferimento sono stati definiti in funzione del clima ondometrico direzionale ricostruito in ri-analisi a largo della nuova diga marittima su fondali di circa -25,0 m sul l.m.m.

Il clima ondometrico direzionale è stato definito sulla base della serie storica ondometrica oraria di durata di 43 anni ricostruita dal Centro Meteorologico Europeo (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts – ECMWF) nell’ambito del progetto ERA5 per un punto di griglia posto ad Ovest della zona di ormeggio della FSRU dove sorgerà la nuova diga marittima.

Selezionati gli scenari di moto ondoso e di vento di riferimento e l’area da coprire con le simulazioni che, come detto, include non solo la nuova diga marittima ma anche le spiagge poste ad Ovest della stessa diga, il lavoro è stato diviso in due fasi.

Nella prima fase si è simulata, per ogni scenario, la propagazione del moto ondoso (tenendo conto dell’azione del vento) e l’idrodinamica forzata sia dal moto ondoso che dal vento. La simulazione del moto ondoso e dell’idrodinamica sono state eseguite in modalità *“singola direzione”* (*“one way”*), ovvero simulando prima la propagazione e la rigenerazione delle onde ad opera del vento (il quale è stato assunto costante nello spazio e stazionario nel tempo sull’intera area simulata) e poi il campo idrodinamico, utilizzando come forzanti il moto ondoso e il vento. Pertanto, utilizzando l’approccio *“one-way”* si sono trascurati gli effetti esercitati dalla corrente sulla propagazione delle onde.

Le simulazioni condotte in questa fase sono state eseguite per due configurazioni, ovvero;

- la configurazione attuale in cui non è presente la nuova diga marittima;
- la configurazione di progetto in cui è presente la nuova diga marittima.

Il confronto tra i risultati ottenuti con le due configurazioni ha permesso di valutare l’effetto della diga a parità di condizioni al contorno.

In particolare, il confronto è stato eseguito prendendo in esame una sezione batimetrica, disposta parallelamente alle spiagge poste ad Ovest della diga, e ricadente su una profondità pari a circa – 8,0 m sul l.m.m., ovvero posta all’incirca in corrispondenza della *“profondità di chiusura”* del litorale.

Lungo la sezione di confronto sono stati paragonati i valori di altezza d’onda e di corrente calcolati numericamente in relazione alla configurazione attuale e a quella di progetto. Il confronto ha mostrato differenze del tutto trascurabili.

Ciò ha portato a concludere che la diga, la cui lunghezza è pari a circa 879 m ed è posta a circa 8,5 km dalla costa, non è in grado di modificare la dinamica costiera e quindi la stabilità delle spiagge poste ad Ovest della nuova opera.

Nella seconda fase, limitatamente alla zona posta nell’intorno della nuova diga, si è studiato, a valle dell’idrodinamica calcolata come sopra descritto, anche il trasporto solido e le variazioni di fondale che si ottengono per ogni scenario di moto ondoso e vento,


	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17093</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 7 di 42	<b>Rev.</b> 0F

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3303-005

prendendo in esame solo la configurazione di progetto. In questo caso le simulazioni eseguite hanno mostrato che le variazioni di fondale indotte dalla nuova diga marittima sono modeste e concentrate sulle zone delle scarpate del dragaggio che tendono a disporsi secondo la pendenza naturale del materiale di cui è composto il fondo.

I modelli numerici utilizzati per calcolare l'idrodinamica e la morfodinamica forzata 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.



	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17093</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 8 di 42	<b>Rev.</b> 0F

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3303-005

### 3 DATI UTILIZZATI

Per la descrizione completa dei dati di moto ondoso e di vento utilizzati si rimanda allo Studio Meteomarine, riportando in questa sede solo le principali informazioni di interesse per il presente studio.

Con riferimento alla Figura 3-1, la posizione del nuovo terminale marittimo e quindi della nuova diga posta a protezione dell'ormeggio della FSRU e della nave "carrier" è indicata con FSRU Ravenna.

#### 3.1 Dati di vento

I dati di vento utilizzati sono stati ricavati dal data-base ERA5 del Centro Meteorologico Europeo (ECMWF) le cui caratteristiche sono riportate nella seguente tabella. La posizione geografica del nodo di griglia utilizzato per i dati di vento è indicata nella Figura 3-1 con l'etichetta "ERA 5 Ravenna". Il punto ERA 5 Ravenna si trova su un fondale di circa – 25,0 m poco ad EST della posizione della nuova diga. Questo punto è stato utilizzato per definire le condizioni al largo del sito in esame. I dati di vento hanno una cadenza oraria.

I dati di vento sono costituiti da valori medi calcolati su 10 minuti e riferiti alla quota + 10 m sul l.m.m.

**Tabella 3-1 - Dati anemometrici acquisiti.**

Rif	Fonte dati	Descrizione	Posizione	Periodo
1	DATI RICOSTRUITI: ECMWF-ERA5 42-Year Wave Hindcast: <a href="https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels?tab=overview">https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels?tab=overview</a>	Dati anemometrici ricostruiti con modello ERA5 Ravenna	44.50°N 12.50°E	1979 2021

#### 3.2 Dati di moto ondoso

I dati di moto ondoso utilizzati sono relativi allo stesso punto di griglia dei dati di vento (Figura 3-1 ERA 5 Ravenna) e presentano le stesse caratteristiche di quelli anemometrici (vedi seguente tabella), ovvero sono orari e coprono l'intervallo di tempo compreso tra il 1979 e il 2021 per uno sviluppo complessivo di più di 42 anni.

**Tabella 3-2 - Dati ondometrici acquisiti.**

Rif	Fonte dati	Descrizione	Posizione	Periodo
1	DATI RICOSTRUITI: ECMWF-ERA5 42-Year Wave Hindcast: <a href="https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels?tab=overview">https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels?tab=overview</a>	Dati di moto ondoso ricostruiti con modello ERA5 Ravenna	44.50°N 12.50°E	1979 2021

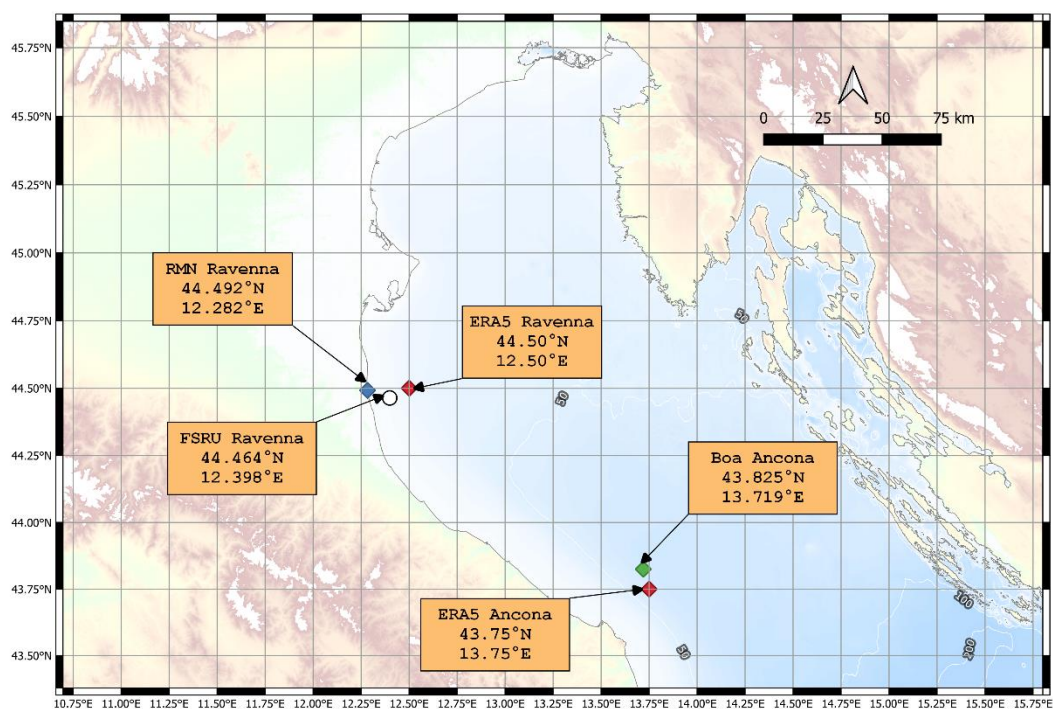
#### 3.3 Dati batimetrici di riferimento

Per condurre il presente studio si è fatto riferimento a dati batimetrici definiti sulla base dei dati Emodnet 2020 e dei rilievi batimetrici di dettaglio effettuati tra Agosto e Settembre 2022. Inoltre, sono implementate le batimetrie di dragaggio come da progetto.



	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17093</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 9 di 42	<b>Rev.</b> 0F

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3303-005



**Figura 3-1 - Localizzazione geografica dei dati utilizzati e del sito dove sorgerà il nuovo terminale marittimo indicato nella figura con FSRU Ravenna.**

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17093</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 10 di 42	<b>Rev.</b> 0F

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3303-005

#### 4 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DEL SITO DI INTERESSE

Con riferimento alla Figura 4-1, la zona dove si prevede di ormeggiare la FSRU Ravenna è localizzata a Sud-Est dell'imboccatura del porto di Ravenna a circa 7,4 km (circa 4 miglia nautiche) di distanza dalla stessa imboccatura e a circa 8,5 km dalla costa (Punta Marina).

La zona di ormeggio ricade nell'area attualmente occupata dal pontile offshore denominato Piattaforma Petra (vedi Figura 4-2 e Figura 4-3) indicata anche pontile PIR.

Con riferimento alla Figura 4-3, l'asse longitudinale del pontile presenta, rispetto al Nord geografico, un angolo ruotato verso Est di pochi gradi (circa 10° N) in modo tale da trapiantare verso Nord Punta della Maestra (vedi Figura 4-1) che costituisce il punto posto più ad Est del Delta del Po.

Dal punto di vista geografico il Pontile PIR è schermato a Nord da Punta della Maestra, e a Sud-Est dal promontorio del Conero, dove sorge il Porto di Ancona.

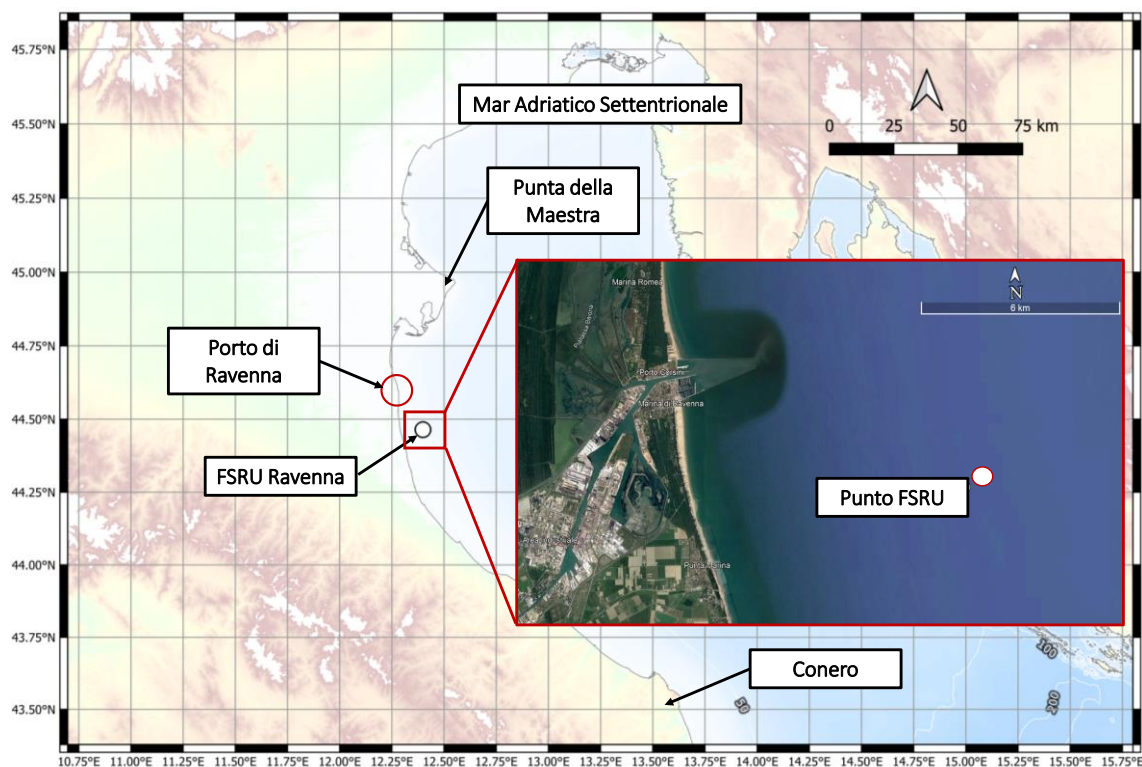


Figura 4-1 - Inquadramento geografico della FSRU Ravenna.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17093</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 11 di 42	<b>Rev.</b> OF

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3303-005



Figura 4-2 - Stato attuale del Pontile Offshore Petra (Pontile PIR) esistente.

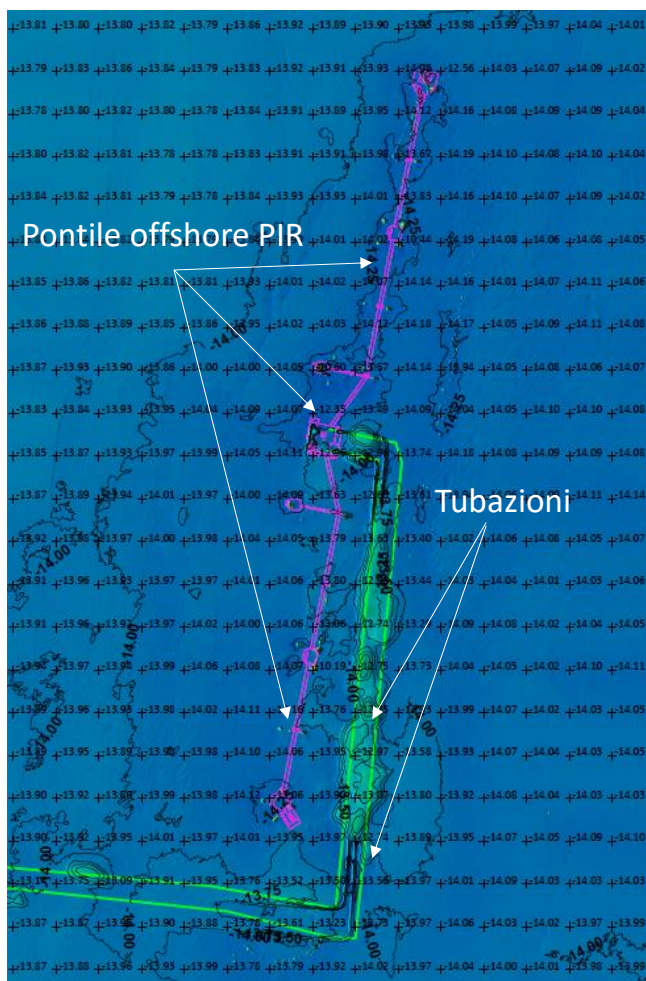


Figura 4-3 - Planimetria del Pontile Offshore Petra (Pontile PIR) esistente.



	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17093</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 12 di 42	<b>Rev.</b> 0F

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3303-005

## 5 CONFIGURAZIONE DELLA NUOVA DIGA FORANEA

La configurazione della nuova diga foranea che è stata presa in esame per eseguire le simulazioni numeriche (denominato come layout F1) è riportata nella Figura 5-1.

Nella stessa figura è mostrata la rosa ondametrica media annuale calcolata in corrispondenza del punto ERA5 Ravenna di Figura 3-1. La rosa ondametrica mostra chiaramente un regime di moto ondoso di tipo bimodale, con onde provenienti prevalentemente da NE (Grecale) e da SE (Scirocco).

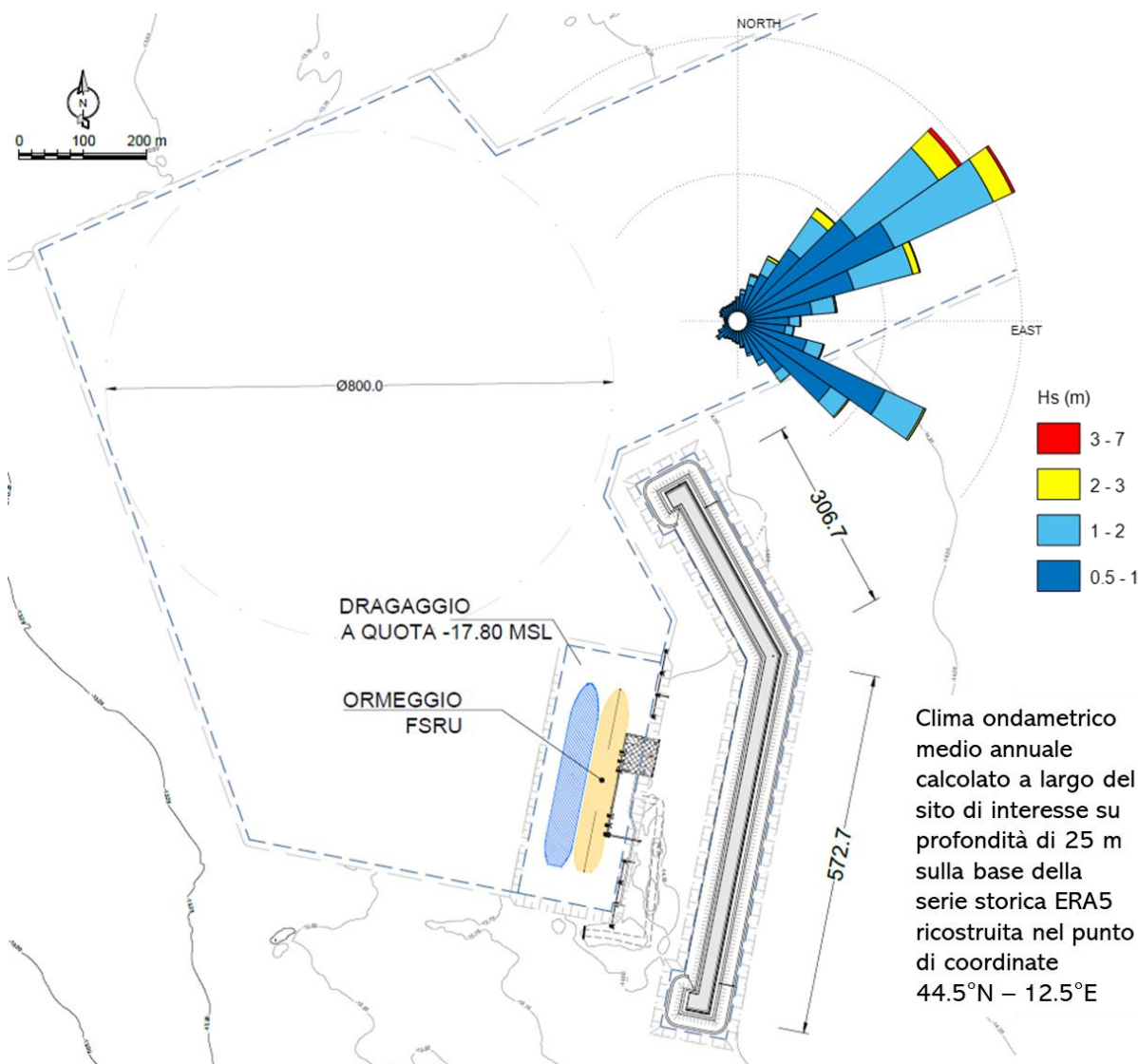


Figura 5-1 - Planimetria della nuova diga marittima con la rosa ondametrica media climatica derivata dal punto di acquisizione ERA5 Ravenna di coordinate 44.50°N – 12.50°E.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17093</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 13 di 42	<b>Rev.</b> OF

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3303-005

Il clima ondamentrico a largo è riportato in forma numerica nella seguente tabella tratta dallo Studio Meteomarino.

**Tabella 5-1 - Frequenza media annuale di accadimento degli eventi di moto ondoso al largo del sito in esame suddivisi per classi di altezza d'onda significativa e direzione, ricostruiti dall'ECMWF. Punto di acquisizione ERA5 Ravenna 44.50°N – 12.50°E. Periodo di riferimento 1979 – 2021.**

		Frequenza di accadimento dell'altezza d'onda significativa											
Direzione d'onda °N	Altezza d'onda (m)												Tot
	0.00	0.25		1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00			
	0.25	0.50	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	> 4.50	
10	1.000	0.656	0.269	0.038	0.020	0.006	0.002	0.001					1.991
20	1.200	0.905	0.437	0.089	0.045	0.018	0.005	0.001	0.000				2.699
30	1.334	1.330	0.646	0.160	0.080	0.037	0.008	0.003	0.003				3.601
40	1.522	1.883	1.187	0.390	0.186	0.099	0.044	0.012					5.323
50	1.525	2.166	2.027	0.969	0.498	0.241	0.104	0.048	0.015	0.001			7.595
60	1.534	2.290	2.449	1.057	0.537	0.223	0.081	0.026	0.009	0.002	0.001		8.210
70	1.608	1.917	1.659	0.655	0.235	0.079	0.022	0.008	0.003	0.001			6.187
80	1.548	1.388	0.978	0.282	0.063	0.019	0.001	0.001					4.280
90	1.806	1.210	0.632	0.134	0.024	0.007	0.001	0.000					3.815
100	2.044	1.424	0.580	0.101	0.020	0.008	0.002						4.179
110	2.644	2.256	0.941	0.197	0.050	0.013	0.004						6.105
120	2.978	3.803	2.320	0.506	0.120	0.018	0.008	0.002	0.001				9.757
130	2.228	2.911	1.580	0.251	0.059	0.015	0.005	0.001					7.050
140	1.380	1.721	0.816	0.142	0.018	0.003	0.000						4.081
150	0.901	1.095	0.525	0.064	0.005								2.590
160	0.630	0.803	0.368	0.032	0.001								1.835
170	0.497	0.614	0.240	0.015	0.001								1.366
180	0.436	0.502	0.180	0.012	0.000								1.130
190	0.374	0.424	0.158	0.009									0.965
200	0.302	0.365	0.136	0.007									0.811
210	0.296	0.327	0.142	0.009	0.002								0.776
220	0.290	0.339	0.162	0.014	0.002								0.808
230	0.256	0.297	0.223	0.020	0.001	0.001							0.798
240	0.275	0.266	0.163	0.012	0.000	0.001							0.717
250	0.286	0.219	0.083	0.007									0.595
260	0.305	0.196	0.043	0.004	0.000								0.548
270	0.302	0.180	0.042	0.006	0.001								0.531
280	0.354	0.197	0.056	0.010	0.001								0.618
290	0.509	0.226	0.109	0.015	0.004	0.001							0.864
300	0.791	0.298	0.138	0.019	0.001								1.247
310	0.911	0.360	0.135	0.014	0.002	0.001							1.423
320	0.982	0.366	0.117	0.015	0.002	0.000							1.481
330	0.975	0.388	0.115	0.014	0.002	0.001							1.494
340	0.942	0.368	0.120	0.011	0.002	0.001							1.442
350	0.870	0.417	0.136	0.020	0.002	0.001							1.446
360	0.916	0.509	0.182	0.024	0.008	0.002	0.000						1.641
Freq. Accadimento	36.755	34.615	20.093	5.327	1.991	0.792	0.288	0.102	0.031	0.004	0.001		100

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17093</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 14 di 42	<b>Rev.</b> 0F

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3303-005

## 6 DEFINIZIONE DEGLI SCENARI DI MOTO ONDOSO E DI VENTO

### 6.1 Scenari di moto ondosso

Per definire gli scenari di moto ondosso da prendere in esame si è fatto riferimento alla tabella climatica media annuale (vedi Tabella 5-1) ricostruita su circa 42 anni di dati di moto ondosso orari, dove gli stati di mare sono stati classificati in funzione della loro altezza d'onda significativa ( $H_s$ ) e direzione di provenienza.

Per la definizione degli scenari di moto ondosso si è fatto riferimento al precedente studio effettuato (201064C-055-RT-3303-005- Studio morfodinamico sulla diga e impatto sulla costa) nel quale si è deciso di puntare l'attenzione alle due direzioni di provenienza del moto ondosso più frequenti le quali, come chiaramente mostrato dalla rosa ondometrica di Figura 5-1, sono costituite dagli stati di mare provenienti:

- dal I quadrante con direzione media di circa  $45^\circ$  N (Grecale);
- e dal II quadrante con direzione media di circa  $120^\circ$  N (Scirocco).

In secondo luogo, si è deciso di non prendere in esame stati di mare con  $H_s$  inferiore ad 1,0 m perché si ritiene che siano poco significativi ai fini del presente lavoro.

Per quanto riguarda le due direzioni medie di provenienza del moto ondosso (Grecale e Scirocco) si è proceduta ad una ulteriore schematizzazione della tabella climatica:

- gli stati di mare con  $H_s$  compresa tra 1,0 m e 2,0 m sono stati rappresentati con uno stato di mare con  $H_s$  media pari a 1,5 m;
- gli stati di mare con  $H_s$  compresa tra 2,0 m e 3,0 m sono stati rappresentati con uno stato di mare con  $H_s$  media pari a 2,5 m;
- gli stati di mare con  $H_s$  compresa tra 3,0 m e 4,0 m sono stati rappresentati con uno stato di mare con  $H_s$  media pari a 3,5 m. Questo stato di mare è stato utilizzato solo per rappresentare le onde provenienti da Grecale in quanto le onde provenienti da Scirocco presentano una modesta frequenza di accadimento di stati di mare ricadenti in questa classe e pertanto non se ne è tenuto conto.

In conclusione, si sono costruiti cinque scenari di moto ondosso:

- tre appartenenti al settore di Grecale;
- due appartenenti al settore di Scirocco.

Nella Tabella 6-1, tratta dalla corrispondente Tabella 5-1, sono evidenziati: (i) con il colore rosa gli stati di mare considerati per rappresentare i tre scenari relativi alle onde provenienti da Grecale; (ii) con il colore azzurro gli stati di mare considerati per rappresentare i due scenari relativi alle onde provenienti da Scirocco.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17093</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 15 di 42	<b>Rev.</b> 0F

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3303-005

**Tabella 6-1 - Frequenza di accadimento degli eventi di moto ondoso al largo di Ravenna suddivisi per classi di altezza d'onda significativa e direzione, ricostruiti dall'ECMWF. Punto di acquisizione ERA5 Ravenna 44.50°N – 12.50°E. Periodo di riferimento 1979 – 2021. Le colorazioni indicano le classi di eventi scelte all'interno della tabella climatica**

	Frequenza di accadimento dell'altezza d'onda significativa											
Direzione d'onda °N	Altezza d'onda (m)											Tot
	0.00 0.25	0.25 0.50	0.50 1.00	1.00 1.50	1.50 2.00	2.00 2.50	2.50 3.00	3.00 3.50	3.50 4.00	4.00 4.50	> 4.50	
10	1.000	0.656	0.269	0.038	0.020	0.006	0.002	0.001				1.991
20	1.200	0.905	0.437	0.089	0.045	0.018	0.005	0.001	0.000			2.699
30	1.334	1.330	0.646	0.160	0.080	0.037	0.008	0.003	0.003			3.601
40	1.522	1.883	1.187	0.390	0.186	0.099	0.044	0.012				5.323
50	1.525	2.166	2.027	0.969	0.498	0.241	0.104	0.048	0.015	0.001		7.595
60	1.534	2.290	2.449	1.057	0.537	0.223	0.081	0.026	0.009	0.002	0.001	8.210
70	1.608	1.917	1.659	0.655	0.235	0.079	0.022	0.008	0.003	0.001		6.187
80	1.548	1.388	0.978	0.282	0.063	0.019	0.001	0.001				4.280
90	1.806	1.210	0.632	0.134	0.024	0.007	0.001	0.000				3.815
100	2.044	1.424	0.580	0.101	0.020	0.008	0.002					4.179
110	2.644	2.256	0.941	0.197	0.050	0.013	0.004					6.105
120	2.978	3.803	2.320	0.506	0.120	0.018	0.008	0.002	0.001			9.757
130	2.228	2.911	1.580	0.251	0.059	0.015	0.005	0.001				7.050
140	1.380	1.721	0.816	0.142	0.018	0.003	0.000					4.081
150	0.901	1.095	0.525	0.064	0.005							2.590
160	0.630	0.803	0.368	0.032	0.001							1.835
170	0.497	0.614	0.240	0.015	0.001							1.366
180	0.436	0.502	0.180	0.012	0.000							1.130
190	0.374	0.424	0.158	0.009								0.965
200	0.302	0.365	0.136	0.007								0.811
210	0.296	0.327	0.142	0.009	0.002							0.776
220	0.290	0.339	0.162	0.014	0.002							0.808
230	0.256	0.297	0.223	0.020	0.001	0.001						0.798
240	0.275	0.266	0.163	0.012	0.000	0.001						0.717
250	0.286	0.219	0.083	0.007								0.595
260	0.305	0.196	0.043	0.004	0.000							0.548
270	0.302	0.180	0.042	0.006	0.001							0.531
280	0.354	0.197	0.056	0.010	0.001							0.618
290	0.509	0.226	0.109	0.015	0.004	0.001						0.864
300	0.791	0.298	0.138	0.019	0.001							1.247
310	0.911	0.360	0.135	0.014	0.002	0.001						1.423
320	0.982	0.366	0.117	0.015	0.002	0.000						1.481
330	0.975	0.388	0.115	0.014	0.002	0.001						1.494
340	0.942	0.368	0.120	0.011	0.002	0.001						1.442
350	0.870	0.417	0.136	0.020	0.002	0.001						1.446
360	0.916	0.509	0.182	0.024	0.008	0.002	0.000					1.641
Freq. Accadimento	36.755	34.615	20.093	5.327	1.991	0.792	0.288	0.102	0.031	0.004	0.001	100

Nella Tabella 6-2 sono riassunti i cinque scenari di moto ondoso selezionati, indicando per ciascuno scenario la sua rilevanza statistica espressa in termini di frequenza media di accadimento annuale.

In generale si può assumere che:

- gli scenari con  $H_s$  pari a 1,5 m e 2,5 m possono essere considerati scenari frequenti e quindi maggiormente rappresentativi di evoluzione dei fondali a *lungo termine*;
- lo scenario con  $H_s = 3,5$  m può essere considerato rappresentativo di condizioni di moto ondoso estreme e quindi maggiormente rappresentativo di evoluzione dei fondali a *breve termine*.



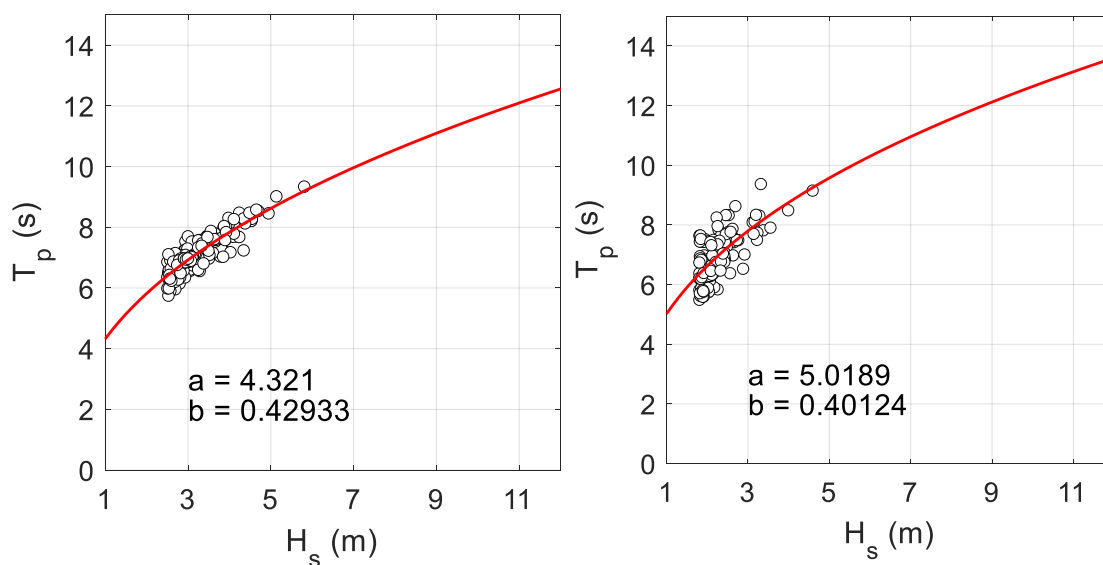
	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17093</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 16 di 42	<b>Rev.</b> 0F

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3303-005

**Tabella 6-2** Scenari di moto ondoso selezionati all'interno della tabella climatica per i due settori di traversia considerati: Grecale e Scirocco con relative frequenze medie di accadimento annuali.

Settore I (Dir = 45 ° N)			
Classe di Hs	1.5 m	2.5 m	3.5 m
Frequenza di accadimento (%)	4.768	0.938	0.127
Settore II (Dir = 120 ° N)			
Classe di Hs	1.5 m	2.5 m	
Frequenza di accadimento (%)	1.464	0.077	


Per associare a ciascuno stato di mare selezionato (scenario di moto ondoso) il corrispondente periodo di picco spettrale del moto ondoso, si sono assunte valide le correlazioni  $T_p$  -  $H_s$  individuate nello studio meteomarino per il settore di Grecale e per il settore di Scirocco, richiamate nella Figura 6-1.



**Figura 6-1** Correlazione  $H_s$ - $T_p$  per il settore di grecale (sinistra) e il settore di scirocco (destra).

## 6.2 Condizioni di vento da associare agli scenari di moto ondoso

Per associare a ciascuno stato di mare selezionato (scenario di moto ondoso) una condizione di vento compatibile con lo stesso scenario, si sono assunte valide le correlazioni  $W_{10}$  -  $H_s$  (con  $W_{10}$  velocità media del vento su 10 minuti calcolata alla quota + 10 m sul l.m.m.) individuate nello studio meteomarino per il settore di Grecale

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17093</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 17 di 42	<b>Rev.</b> 0F

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3303-005

e per il settore di Scirocco, richiamate nella Figura 6-2. Per quanto riguarda la direzione del vento si è assunto che questa sia coincidente con quella del moto ondoso.

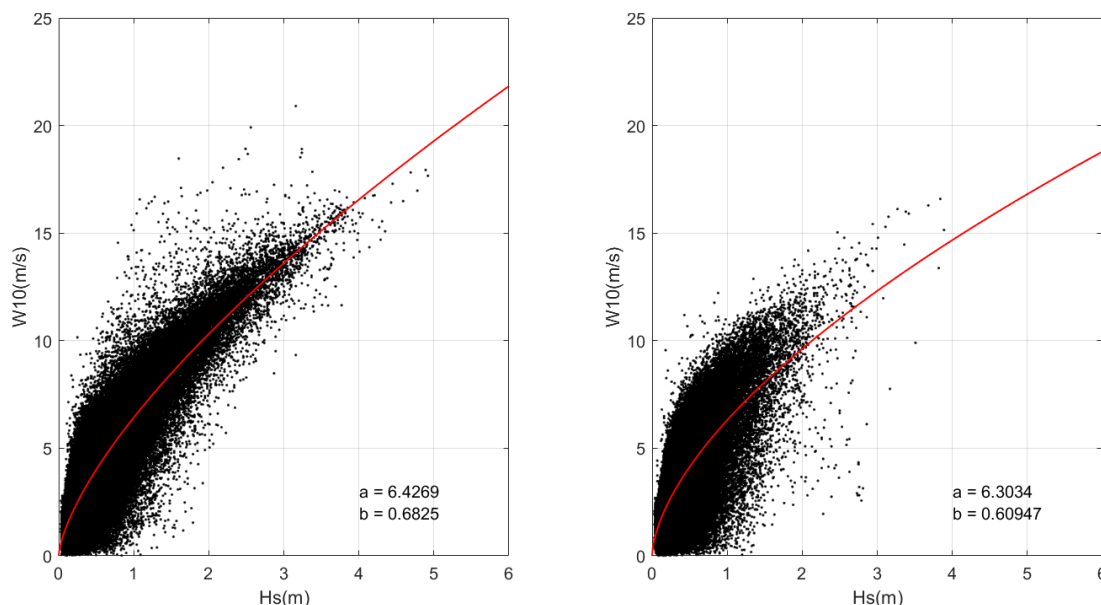


Figura 6-2 Legge Hs-W10 per il settore di grecale (sinistra) e il settore di scirocco (destra).

### 6.3 Scenari di moto ondoso e di vento analizzati

Nella Tabella 6-2 sono riassunte le caratteristiche del moto ondoso e del vento utilizzate per ciascuna simulazione eseguita.

Le simulazioni numeriche sono state contraddistinte con il codice identificativo indicato in tabella con ID.

Poiché dei cinque scenari di moto ondoso selezionati, è risultato che quelli caratterizzati da una altezza d'onda significativa più piccola, ovvero pari a 1,5 m, non sono in grado di produrre un sensibile trasporto solido e di conseguenza delle sensibili variazioni di fondale, oltreché ad un impatto sulla costa nullo, in questa sede si è deciso di escluderli dalle simulazioni presentate nel presente rapporto.

Pertanto nel seguito si fa riferimento solo ai tre scenari caratterizzati da valori di Hs uguali a 2,5 m e 3,5 m.

Si sono quindi effettuate 2 simulazioni relative al Settore I e una per il Settore II considerando quindi un totale di 3 simulazioni per lo stato attuale e 3 per lo stato di progetto.

Perciò, come indicato nel seguito, ciascuna delle 3 simulazioni di seguito riportata è stata eseguita in relazione a due configurazioni per le opere, ovvero quella attuale dove non è presente la nuova diga marittima e quella di progetto in cui è presente la diga marittima.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17093</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 18 di 42	<b>Rev.</b> 0F

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3303-005

**Tabella 6-3 Scenari di moto ondoso e di vento simulati.**

Settore I				
ID	Hs (m)	Tp (s)	Dir (° N)	W10 (m/s)
SI-1	2.5	6.4	45	12.01
SI-2	3.5	7.4	45	15.11
Settore II				
SII-1	2.5	7.24	120	11.02

#### 6.4 Definizione delle caratteristiche sedimenti

Per eseguire le simulazioni che hanno previsto il calcolo del trasporto solido si è assunto che i sedimenti superficiali siano costituiti da materiale non coesivo, costituito da una sabbia che rientra nella classe delle “sabbie fini” con diametro medio  $D_{50} = 200 \mu$ .

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17093</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 19 di 42	<b>Rev.</b> 0F

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3303-005

## 7 IMPOSTAZIONE DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE

### 7.1 Modelli numerici utilizzati

I modelli numerici utilizzati per calcolare l'idrodinamica e la morfodinamica forzata 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 del fondale.

WAVES risolve l'equazione di bilancio di energia del moto ondoso 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 e vento costante nel tempo e nello spazio.


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 con modalità "one-way" in modo tale che WAVES fornisca il campo di moto ondoso a FLOW-FM il quale calcola l'idrodinamica costiera complessiva, indotta da onde 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.

### 7.2 Griglie di calcolo

La griglia di calcolo utilizzata per eseguire i calcoli di idrodinamica e di trasporto solido mediante il codice FLOW-FM (riportata in Figura 7-1 con il Nord geografico diretto verso l'alto), di forma rettangolare, ha un'estensione spaziale di 55.5 km x 49.5 km. Nella figura è indicato il Porto di Ravenna, di cui sono state rappresentate le due dighe foranee come se fossero un pennello unico aggettante verso il mare, e la nova diga foranea.

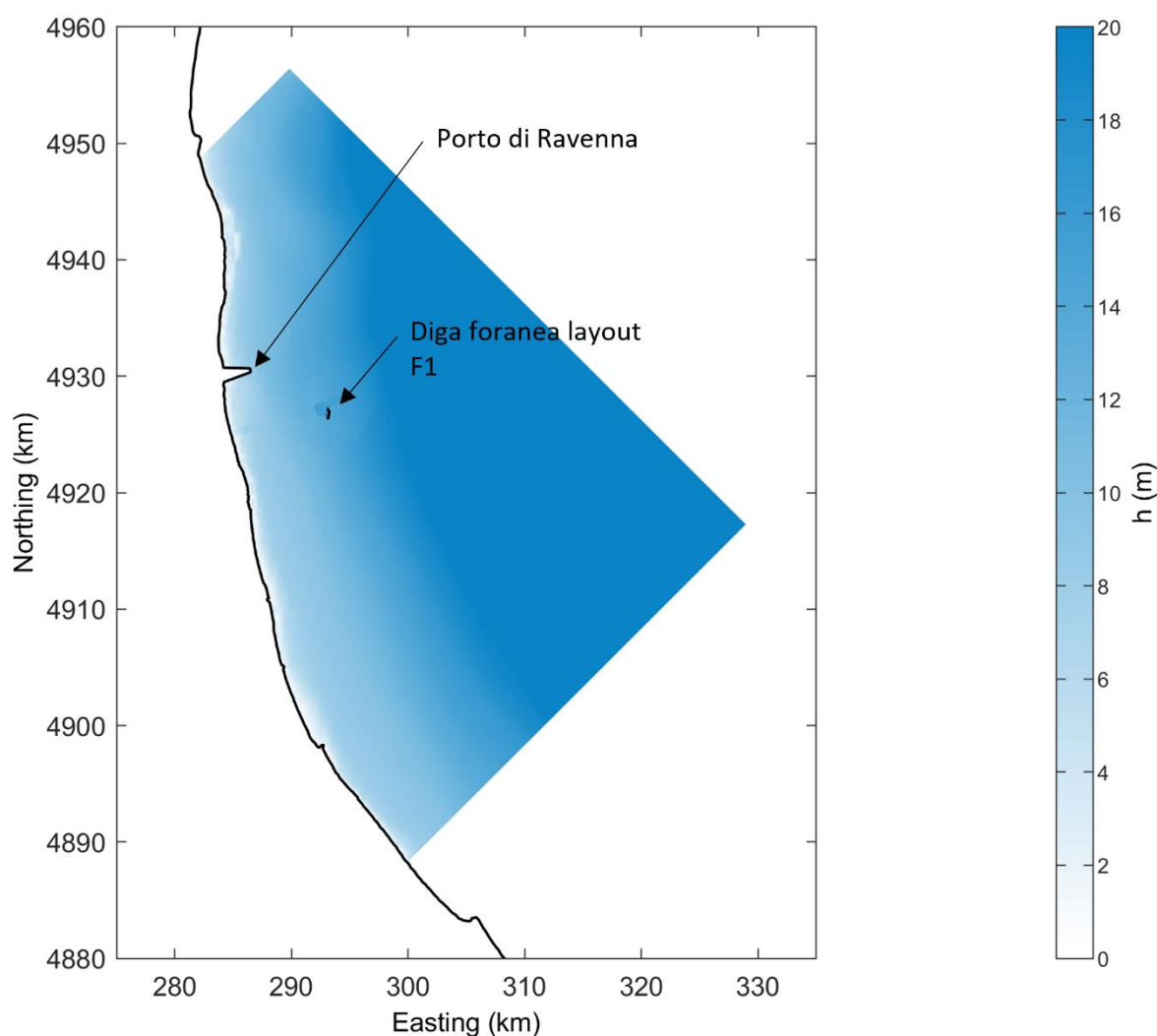
	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17093</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 20 di 42	<b>Rev.</b> 0F

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3303-005

Come si vede dalla Figura 7-1, il lato NE della griglia di calcolo è ruotato rispetto al Nord geografico di 45° in modo tale da presentare il lato NE del dominio di calcolo perpendicolare alla direzione di provenienza delle condizioni di moto ondoso e di vento di Grecale.

Un approccio simile è stato utilizzato per il lato SE della griglia di calcolo dal quale provengono le onde di Scirocco.

La griglia di calcolo utilizzata per simulare la situazione attuale coincide con quella riportata in Figura 7-1 tranne per il fatto che non è stata simulata la presenza della diga.



**Figura 7-1 Griglia di calcolo**

La Figura 7-2 e la Figura 7-3 mostrano due particolari della griglia di calcolo.

In particolare, nella Figura 7-2 è rappresentata in rosso la sezione, posta grossomodo in corrispondenza della profondità - 8,0 m sul l.m.m. (limite della profondità di chiusura del litorale), in corrispondenza della quale è stato effettuato il confronto tra lo stato attuale e lo stato di progetto.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17093</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 21 di 42	<b>Rev.</b> 0F

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3303-005

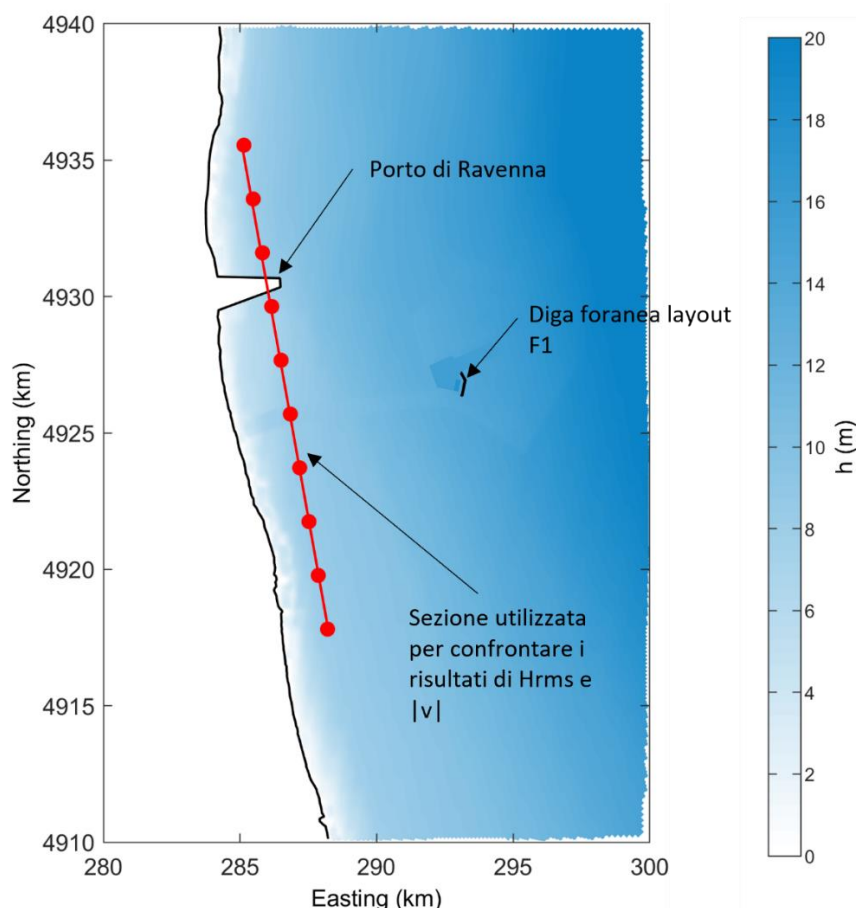
La risoluzione spaziale della griglia di calcolo varia da un massimo di 150.0 m (lontano dalla diga) ad un minimo di 4.0 m nella zona circostante la diga.

Il codice spettrale, integrato sulla fase dell'onda che risolve il campo di moto ondoso denominato WAVES, che è molto simile al codice SWAN sviluppato sempre da Deltares, è stato invece applicato utilizzando due griglie: una griglia COARSE e una griglia NESTED.


La griglia COARSE, con una risoluzione spaziale di 150 m, copre la stessa estensione della griglia utilizzata per risolvere l'idrodinamica (vedi Figura 7-1) ed ha quindi le dimensioni di 55.5 km x 49.5 km.

La griglia NESTED ha invece dimensioni di 15 km x 15 km e una risoluzione di 20 m. Questa griglia è stata situata nell'intorno della nuova diga foranea e del porto di Ravenna per permettere di risolvere, in questa zona, il campo d'onda con una maggiore risoluzione.

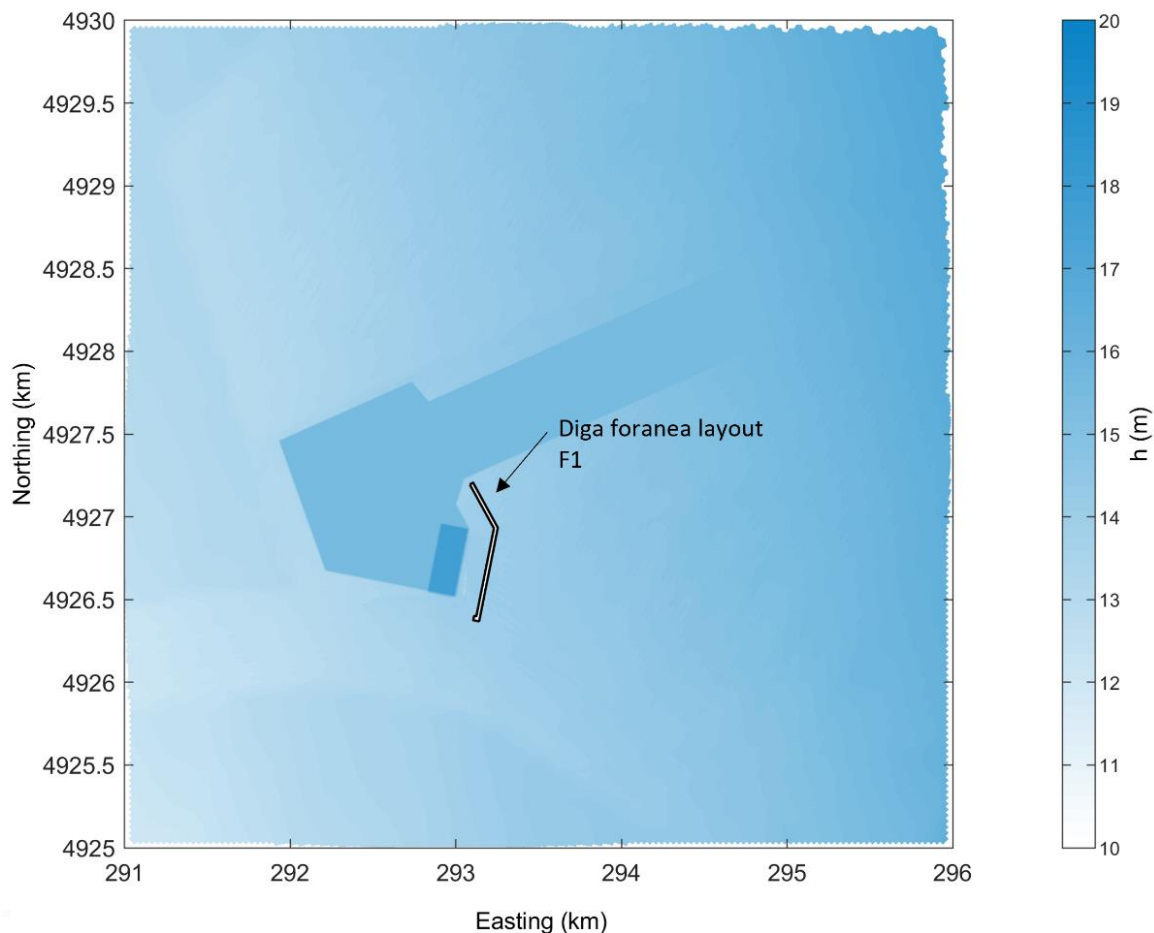
Come per la griglia utilizzata per l'idrodinamica, entrambe le griglie sono ruotate rispetto al Nord geografico di 45°.



**Figura 7-2 Particolare della griglia di calcolo nella zona circostante il porto di Ravenna e la nuova diga foranea. In rosso è riportata la sezione considerata per l'analisi dei risultati di confronto tra stato attuale e lo stato di progetto.**

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17093</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 22 di 42	<b>Rev.</b> 0F

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3303-005



**Figura 7-3 Particolare della griglia di calcolo nei pressi della nuova diga foranea.**

### 7.3 Condizioni al contorno e modalità esecutive delle simulazioni

Per quanto riguarda il calcolo dell'idrodinamica costiera, lungo i contorni aperti della griglia di calcolo (lati NE, NO e SE) è stata imposta una condizione di assorbimento.

Per quanto riguarda le simulazioni relative al moto ondoso, le condizioni di moto ondoso incidente sono state imposte come condizioni al contorno lungo i lati NE, NO e SE (vedi Figura 7-1).

Il vento è stato assunto, nell'intero dominio di calcolo, costante nello spazio sia in termini di velocità, sia in termini di direzione. Di conseguenza il campo idrodinamico prodotto è assimilabile a stazionario.

Limitatamente alle simulazioni idrodinamiche, per evitare la generazione di un campo idrodinamico instabile con conseguenti oscillazioni spurie del livello del mare, si è utilizzata una rampa iniziale di incremento del vento della durata complessiva di 4 h. Durante la rampa iniziale, il vento è stato incrementato linearmente nel tempo, partendo dal valore nullo fino ad arrivare al valore costante stabilito per lo scenario in esame. Al termine della rampa iniziale la velocità del vento è stata mantenuta costante per 12 h allo scopo di



	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17093</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 23 di 42	<b>Rev.</b> 0F

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3303-005

simulare una durata media di una mareggiata. I risultati relativi al campo idrodinamico sono stati estratti al termine delle 16 h ore complessive 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.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17093</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 24 di 42	<b>Rev.</b> 0F

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3303-005

## 8 ANALISI DELL'IMPATTO DELLA NUOVA DIGA MARITTIMA SULLA DINAMICA COSTIERA

Si riportano di seguito i risultati ottenuti nella prima fase nell'ambito della quale, come detto nell'introduzione, l'obiettivo è stato quello di verificare se i 3 scenari di moto ondoso esaminati sono in grado di influire sulla dinamica costiera.

Pertanto, nei seguenti paragrafi si riportano in forma di grafici i risultati ottenuti applicando:

- il modulo di moto ondoso (WAVES);
- il modulo idrodinamico (FLOW-FM).

I due codici di calcolo, come detto, sono stati applicati per riprodurre sia la Configurazione Attuale, caratterizzata dalla assenza della nuova diga, che la Configurazione di Progetto, caratterizzata dalla presenza della nuova diga marittima.

I risultati relativi al campo di moto ondoso vengono presentati in termini di  $H_{rms}$ , ovvero la radice quadrata della media delle altezze d'onda al quadrato, poiché gli aspetti relativi al trasporto solido sono collegati all'energia del moto ondoso la quale dipende dal quadrato dell'altezza d'onda. Nel caso in cui le altezze d'onda seguano la legge di distribuzione di probabilità di Rayleigh, risulta il seguente legame tra  $H_{rms}$  e l'altezza d'onda significativa  $H_s$ :

$$H_{rms} = \frac{\sqrt{2}}{2} H_s$$

I risultati vengono dapprima presentati per ogni scenario di moto ondoso e vento esaminato. Infine, i risultati vengono comparati rispetto alla sezione di confronto riportata in Figura 7-2. Si fa notare come le scale di fondo siano variate da simulazione a simulazione per facilitare la comparazione visiva tra stato attuale e stato di progetto.

### 8.1 Scenari Settore I (Grecale)

#### 8.1.1 Simulazioni SI-1 senza diga e con diga

In questo scenario si sono utilizzati i seguenti parametri:

- moto ondoso incidente da largo:  $H_s = 2,5$  m;  $T_p = 6.4$  s;  $Dir = 45^\circ$  N;
- vento: 12,01 m/s;  $Dir = 45^\circ$  N.

Nella Figura 8-1 sono riportati i risultati espressi in termini di  $H_{rms}$  relativi:

- alla configurazione attuale (pannello di sinistra);
- alla configurazione di progetto (pannello di destra).

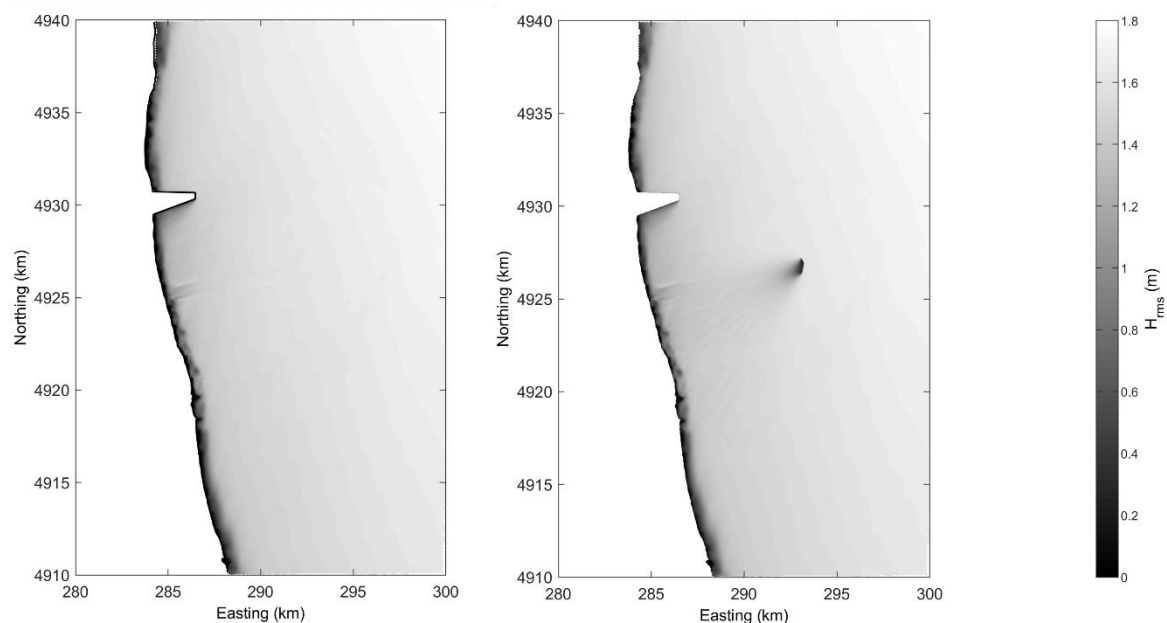
Nella Figura 8-2 sono riportati i risultati relativi ai campi di velocità relativi:

- alla configurazione attuale (pannello di sinistra);
- alla configurazione di progetto (pannello di destra).

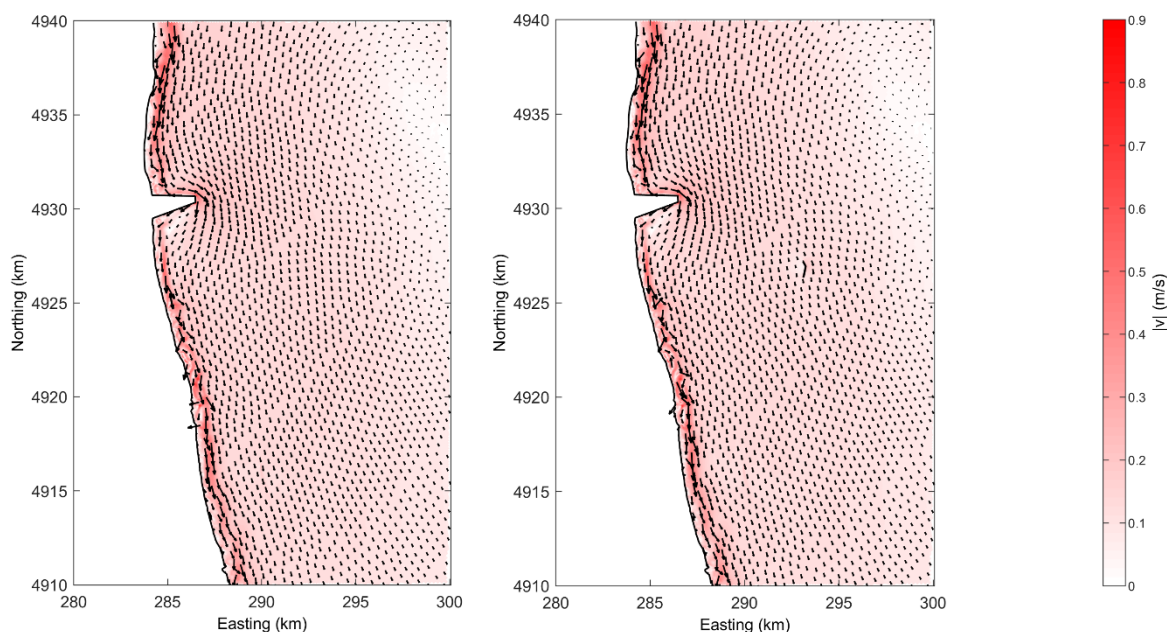
	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17093</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 25 di 42	<b>Rev.</b> 0F

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3303-005

Nella Figura 8-3 sono riportati i risultati relativi ai campi di velocità nell'intorno della nuova diga foranea.



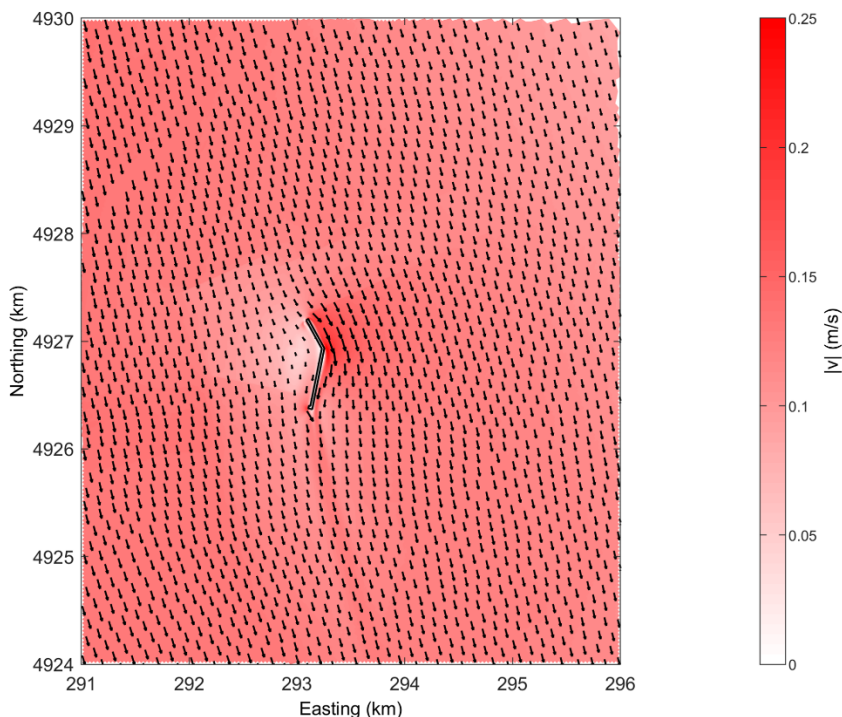
**Figura 8-1 Campi di Hrms per lo stato attuale (sinistra) e di progetto (destra) per lo scenario SI-1.**



**Figura 8-2 Campi di velocità della corrente per lo stato attuale (sinistra) e di progetto (destra) per lo scenario SI-1.**

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17093</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 26 di 42	<b>Rev.</b> 0F

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3303-005



**Figura 8-3 Campi di velocità della corrente per lo stato di progetto per lo scenario SI-1 nella zona prospiciente la diga**

#### 8.1.2 Simulazioni SI-2 senza diga e con diga

In questo scenario si sono utilizzati i seguenti parametri:

- moto ondoso incidente da largo:  $H_s = 3,5$  m;  $T_p = 7.4$  s;  $Dir = 45^\circ$  N;
- vento: 15,11 m/s;  $Dir = 45^\circ$  N.

Nella Figura 8-4 sono riportati i risultati espressi in termini di  $H_{rms}$  relativi:

- alla configurazione attuale (pannello di sinistra);
- alla configurazione di progetto (pannello di destra).

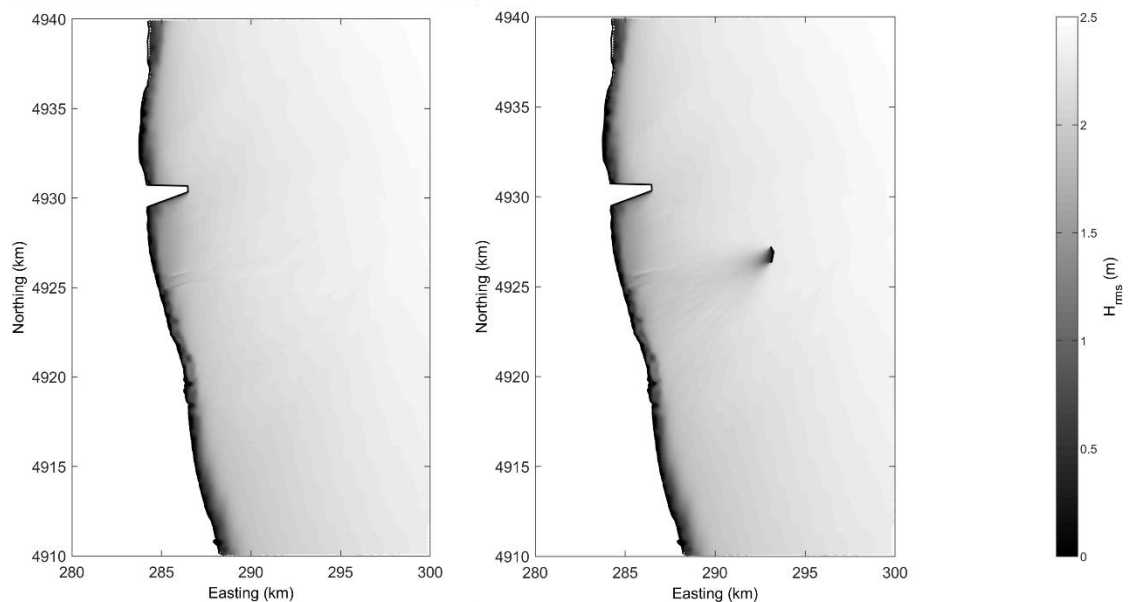
Nella Figura 8-5 sono riportati i risultati relativi ai campi di velocità relativi:

- alla configurazione attuale (pannello di sinistra);
- alla configurazione di progetto (pannello di destra).

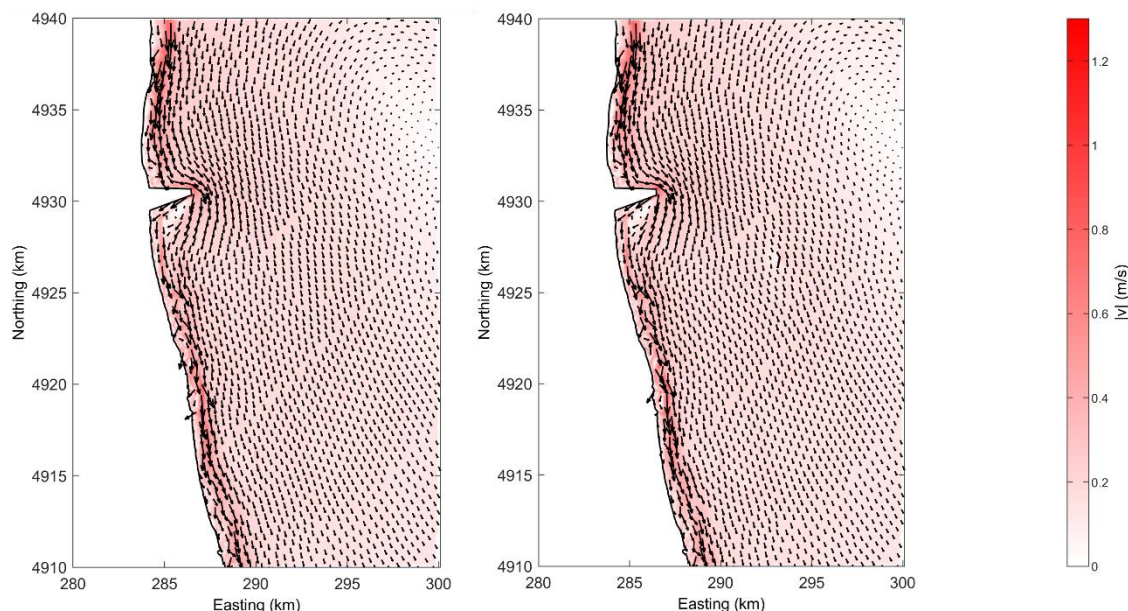
Nella Figura 8-6 sono riportati i risultati relativi ai campi di velocità nell'intorno della nuova diga foranea.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17093</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 27 di 42	<b>Rev.</b> 0F

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3303-005



**Figura 8-4 Campi di Hrms per lo stato attuale (sinistra) e di progetto (destra) per lo scenario SI-2.**

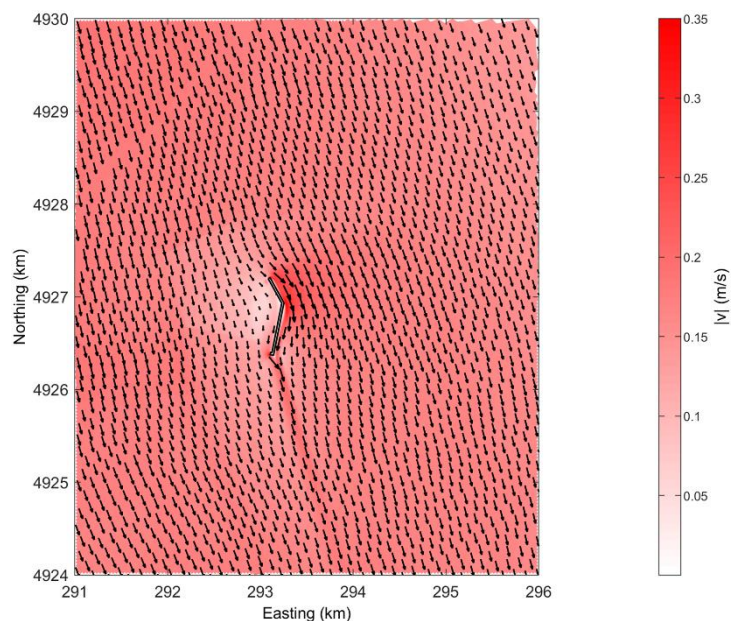


**Figura 8-5 Campi di velocità della corrente per lo stato attuale (sinistra) e di progetto (destra) per lo scenario SI-2.**



	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17093</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 28 di 42	<b>Rev.</b> 0F

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3303-005



**Figura 8-6 Campi di velocità della corrente per lo stato di progetto per lo scenario SI-2 nella zona prospiciente la diga.**

## 8.2 Scenari Settore II (Scirocco)

### 8.2.1 Simulazioni SII-1 senza diga e con diga

In questo scenario si sono utilizzati i seguenti parametri:

- moto ondoso incidente da largo:  $H_s = 2,5$  m;  $T_p = 7.24$  s;  $Dir = 120^\circ$  N;
- vento: 11,02 m/s;  $Dir = 120^\circ$  N.

Nella Figura 8-7 sono riportati i risultati espressi in termini di  $H_{rms}$  relativi:

- alla configurazione attuale (pannello di sinistra);
- alla configurazione di progetto (pannello di destra).

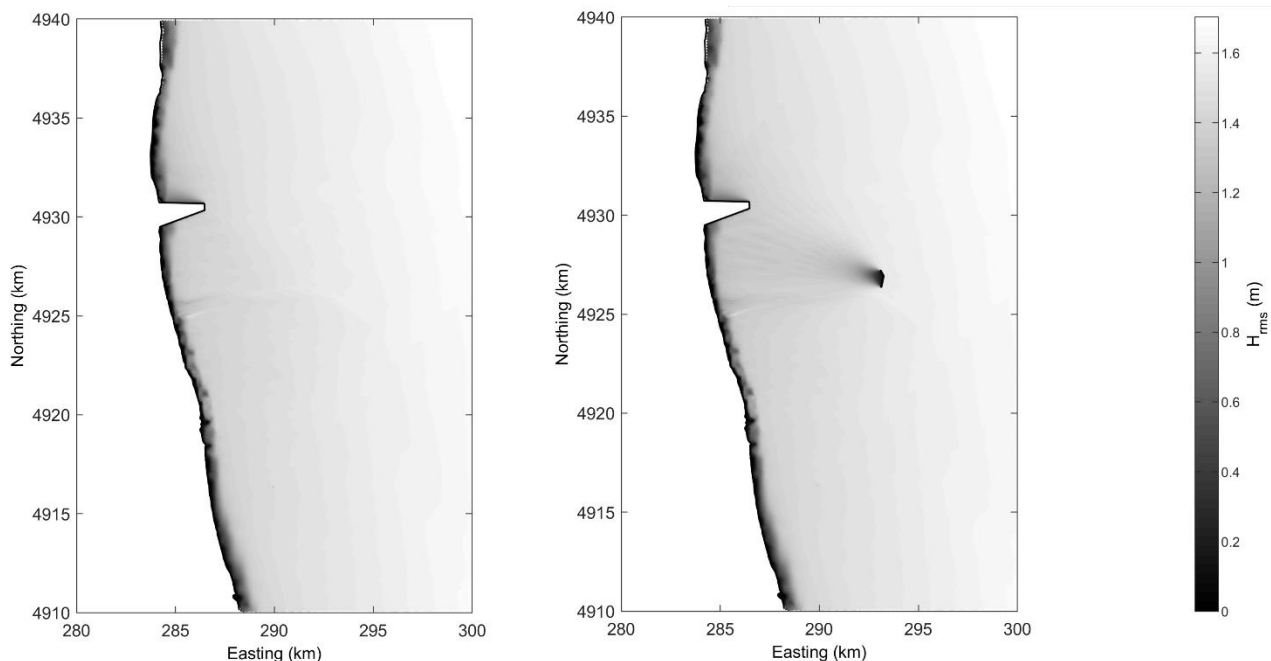
Nella Figura 8-8 sono riportati i risultati relativi ai campi di velocità relativi:

- alla configurazione attuale (pannello di sinistra);
- alla configurazione di progetto (pannello di destra).

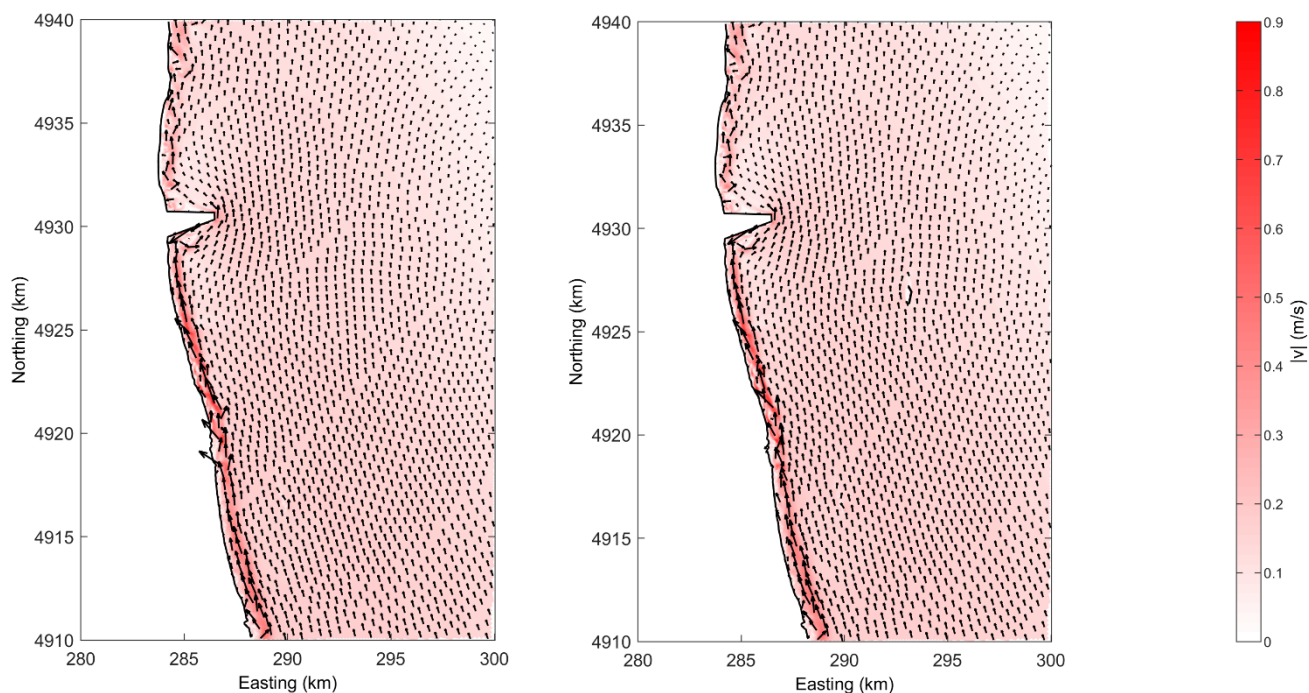
Nella Figura 8-9 sono riportati i risultati relativi ai campi di velocità nell'intorno della nuova diga foranea.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17093</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 29 di 42	<b>Rev.</b> 0F

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3303-005



**Figura 8-7 Campi di Hrms per lo stato attuale (sinistra) e di progetto (destra) per lo scenario SII-1**

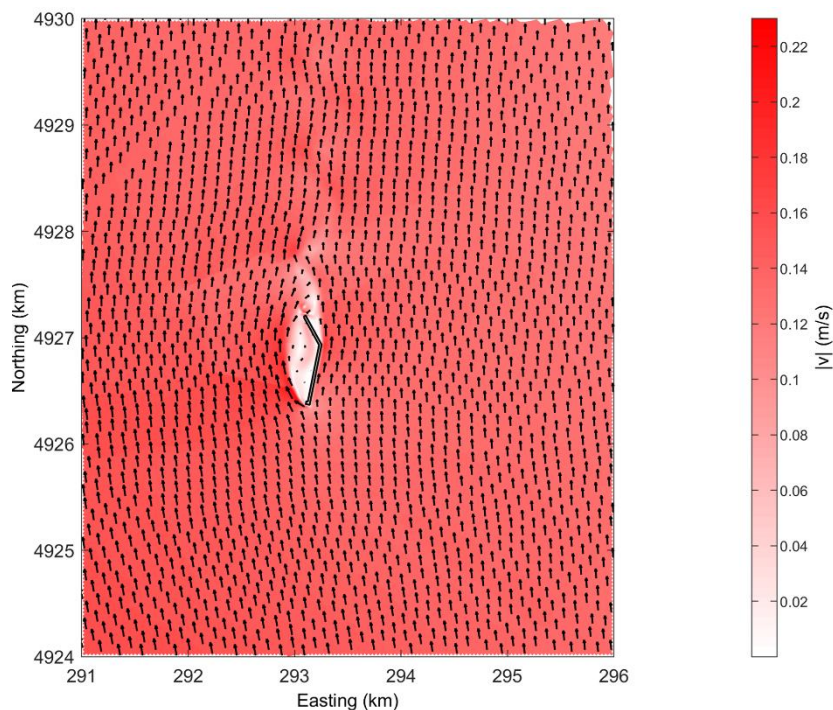


**Figura 8-8 Campi di velocità della corrente per lo stato attuale (sinistra) e di progetto (destra) per lo scenario SII-1.**



	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17093</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 30 di 42	<b>Rev.</b> 0F

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3303-005



**Figura 8-9 Campi di velocità della corrente per lo stato di progetto per lo scenario SII-1 nella zona prospiciente la diga.**

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17093</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 31 di 42	<b>Rev.</b> 0F

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3303-005

### 8.3 Comparazione tra $H_{rms}$ e $|V|$ tra stato attuale e di progetto per una sezione posizionata all'incirca lungo la batimetrica -8 m


Con riferimento alla Figura 7-2, sono stati estratti con un passo regolare lungo la sezione indicata nella stessa figura in rosso - che presenta una lunghezza complessiva di circa 18 km ed è localizzata grossomodo lungo la batimetrica - 8,0 m s.l.m.m., - i valori dell'altezza d'onda  $H_{rms}$  e del modulo della velocità idrodinamica  $|V|$  sia in relazione alla Configurazione Attuale (AT), sia in relazione alla Configurazione di progetto (F1) al fine di effettuare una comparazione tra gli stessi valori.

I risultati per gli scenari di moto ondosso e vento analizzati sono riportati nella Tabella 8-1 per gli stati di mare provenienti da Grecale e nella Tabella 8-2 per gli stati di mare provenienti da Scirocco.

I risultati mostrano che in prossimità della costa l'effetto schermo operato dalla diga è trascurabile.

**Tabella 8-1 Grecale: tabella dei valori di  $H_{rms}$  e  $|v|$  lungo la sezione definita precedentemente per gli scenari del Settore I e stato attuale (AT) e di progetto (F1)**


SI-1				SI-2			
$H_{rms}$ (m)		$ V $ (m/s)		$H_{rms}$ (m)		$ V $ (m/s)	
AT	F1	AT	F1	AT	F1	AT	F1
1.40	1.40	0.229	0.229	1.85	1.85	0.396	0.396
1.44	1.44	0.181	0.181	1.95	1.95	0.298	0.297
1.45	1.45	0.159	0.160	1.98	1.98	0.268	0.270
1.34	1.34	0.121	0.125	1.83	1.83	0.153	0.162
1.41	1.40	0.138	0.141	1.90	1.89	0.212	0.217
1.43	1.37	0.129	0.134	1.95	1.87	0.195	0.201
1.44	1.40	0.145	0.150	1.97	1.92	0.214	0.219
1.45	1.42	0.158	0.160	1.98	1.96	0.232	0.227
1.45	1.42	0.149	0.144	1.97	1.94	0.221	0.207
1.45	1.45	0.137	0.128	1.94	1.94	0.194	0.176

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17093</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 32 di 42	<b>Rev.</b> 0F

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3303-005

**Tabella 8-2 Scirocco: tabella dei valori di Hrms e |v| lungo la sezione definita precedentemente per lo scenario del Settore II e stato attuale (AT) e di progetto (F1)**

SII-1			
H <sub>rms</sub> (m)		V  (m/s)	
AT	F1	AT	F1
1.40	1.40	0.116	0.115
1.39	1.39	0.101	0.097
1.36	1.32	0.100	0.095
1.38	1.33	0.170	0.167
1.41	1.35	0.125	0.129
1.39	1.32	0.123	0.129
1.41	1.41	0.150	0.154
1.41	1.41	0.165	0.168
1.42	1.42	0.172	0.174
1.42	1.42	0.175	0.175

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17093</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 33 di 42	<b>Rev.</b> 0F

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3303-005

## 9 TRASPORTO DEI SEDIMENTI NELL'INTORNO DELLA DIGA

Si riportano di seguito i risultati ottenuti nella seconda fase del lavoro nell'ambito della quale, come detto, nell'introduzione, l'obiettivo è stato quello di analizzare il trasporto dei sedimenti e le conseguenti variazioni morfologiche del fondale nell'area circostante la nuova diga marittima. Le aree poste all'esterno della diga marittima sono state escluse da questa analisi in quanto, come mostrato nel Capitolo 7.3, gli effetti della diga sulla costa risultano trascurabili in termini di idrodinamica e quindi di trasporto solido.

Pertanto, nei seguenti paragrafi si riportano in forma grafica i risultati ottenuti applicando:

- il modulo di moto ondoso (WAVES);
- il modulo idrodinamico (FLOW-FM) che in questo caso è stato utilizzato per calcolare anche il trasporto solido e le variazioni di fondale.

I due codici di calcolo, come detto, sono stati applicati per riprodurre la Configurazione di Progetto della nuova diga marittima in cassoni (F1).

Per ogni scenario, vengono presentati:

- i risultati relativi al trasporto solido
- le variazioni di fondale cumulate nelle 12h di simulazione prese in esame.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17093</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 34 di 42	<b>Rev.</b> 0F

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3303-005

#### 9.1.1 Simulazione SI-1

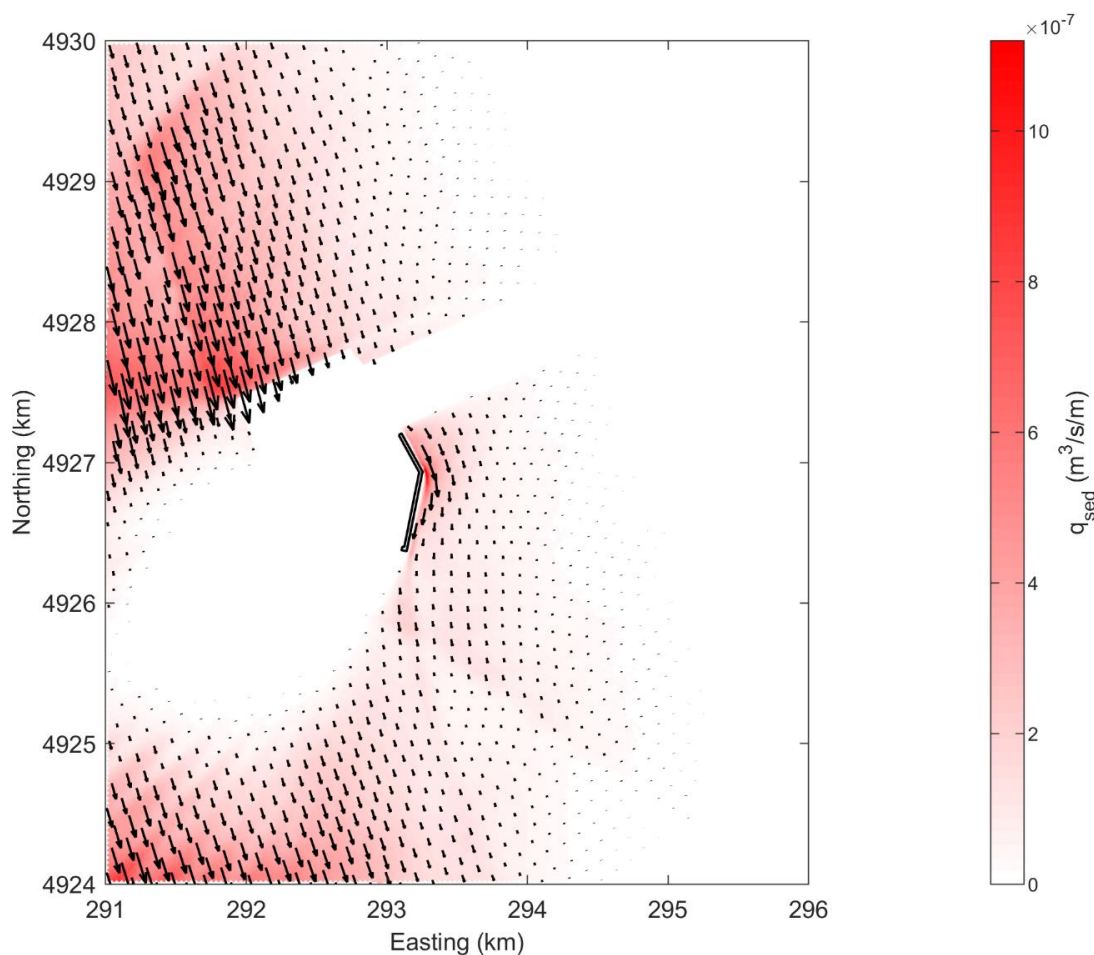
In questo scenario si sono utilizzati i seguenti parametri:

- moto ondoso incidente da largo:  $H_s = 2,5$  m;  $T_p = 6.4$  s;  $Dir = 45^\circ$  N;
- vento: 12,01 m/s;  $Dir = 45^\circ$  N.

Nella Figura 9-1 sono riportati i risultati relativi al campo di trasporto solido calcolato nell'intorno della nuova diga foranea dalla quale si evidenzia facilmente l'area a EST della diga schermata dalle onde incidenti che risulta in un trasporto solido nullo. Il trasporto solido è generalmente molto contenuto e da questo risulta una variazione di fondale nelle 12h di simulazione molto contenuto come mostrato in Figura 9-2. Comunque, con riferimento alla Figura 9-2 dove si riporta la variazione cumulata del fondale, si evidenzia che a Nord-Ovest della diga foranea si trova una zona estremamente limitata dove si verifica una modestissima sedimentazione in corrispondenza della scarpata dello scavo di dragaggio. Questa sedimentazione, del tutto trascurabile, è dovuta alla pendenza assunta per lo scavo del dragaggio pari ad 1:5 che risulta leggermente inferiore rispetto a quella di equilibrio dei sedimenti.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17093</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 35 di 42	<b>Rev.</b> 0F

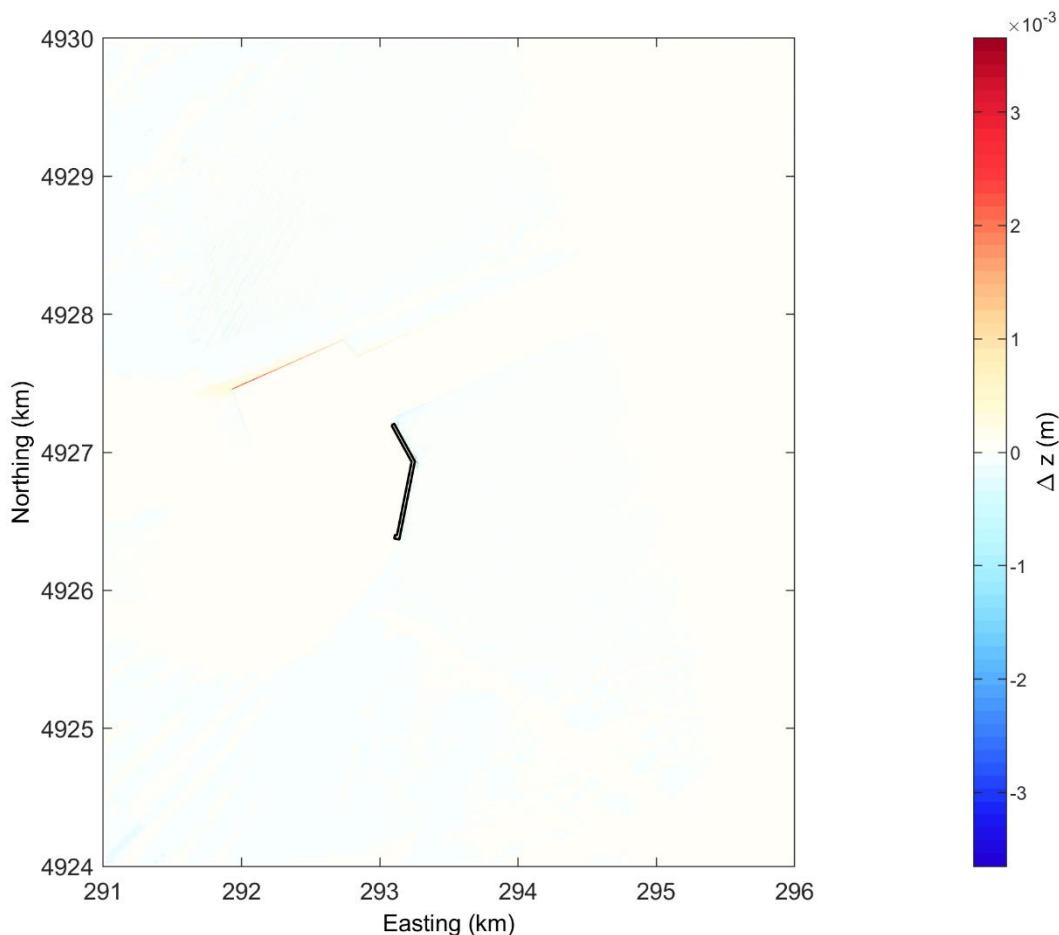
Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3303-005



**Figura 9-1 Portata del trasporto solido per lo scenario SI-1**

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17093</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 36 di 42	<b>Rev.</b> 0F

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3303-005



**Figura 9-2** Variazione cumulata del fondale nelle 12h di mareggiata simulate per lo scenario SI-1



	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17093</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 37 di 42	<b>Rev.</b> 0F

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3303-005


### 9.1.2 Simulazioni SI-2

In questo scenario si sono utilizzati i seguenti parametri:

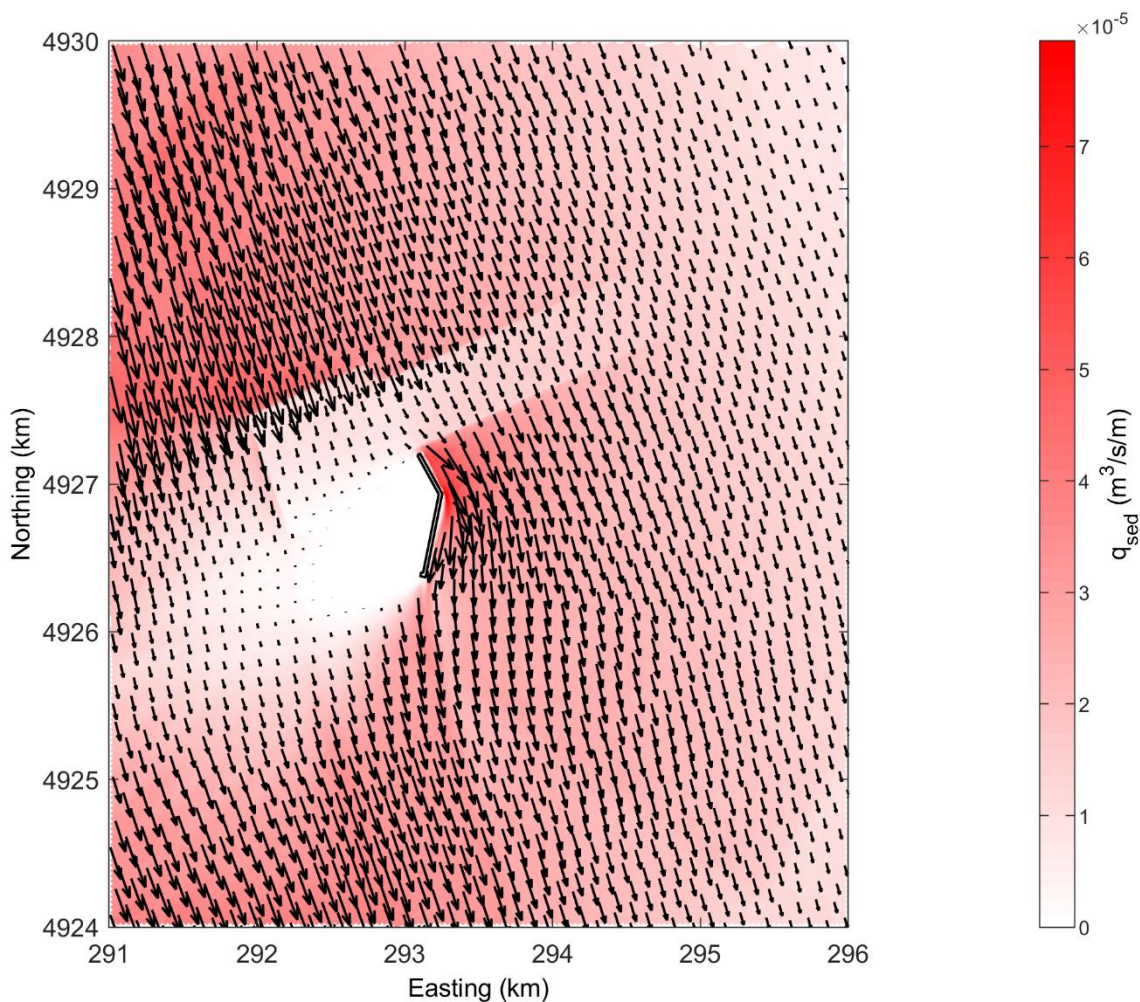
- moto ondoso incidente da largo:  $H_s = 3,5$  m;  $T_p = 7.4$  s;  $Dir = 45^\circ$  N;
- vento: 15,11 m/s;  $Dir = 45^\circ$  N.

Nella Figura 9-3 sono riportati i risultati espressi in termini portata di trasporto solido dove si può notare l'area d'ombra posta ad EST dell'opera simile a quanto visto per lo scenario SI-1 ma con entità inferiori.

Nella Figura 9-4 sono riportati i risultati relativi ai cambiamenti morfologici del fondo cumulati dove si osserva che i valori massimi di deposizione, comunque modesti, si localizzano principalmente in prossimità delle pareti dello scavo di dragaggio come già visto per la simulazione SI-1. I valori massimi di variazione di fondale calcolati sono risultati di circa +0.12 m per la deposizione e di circa -0.10 m per l'erosione. Tali valori sono comunque limitati alle scarpate dell'area di dragaggio, mentre nella zona interna del dragaggio non sono presenti fenomeni di erosione/deposizione. Valori leggermente superiori si sono trovati in prossimità del piede della diga a parete verticale, dove però non si è simulata, a favore di sicurezza, la presenza dello scanno di imbasamento della diga a parete verticale la cui funzione è proprio quella di proteggere il piede dell'opera da possibili erosioni localizzate.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17093</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 38 di 42	<b>Rev.</b> 0F

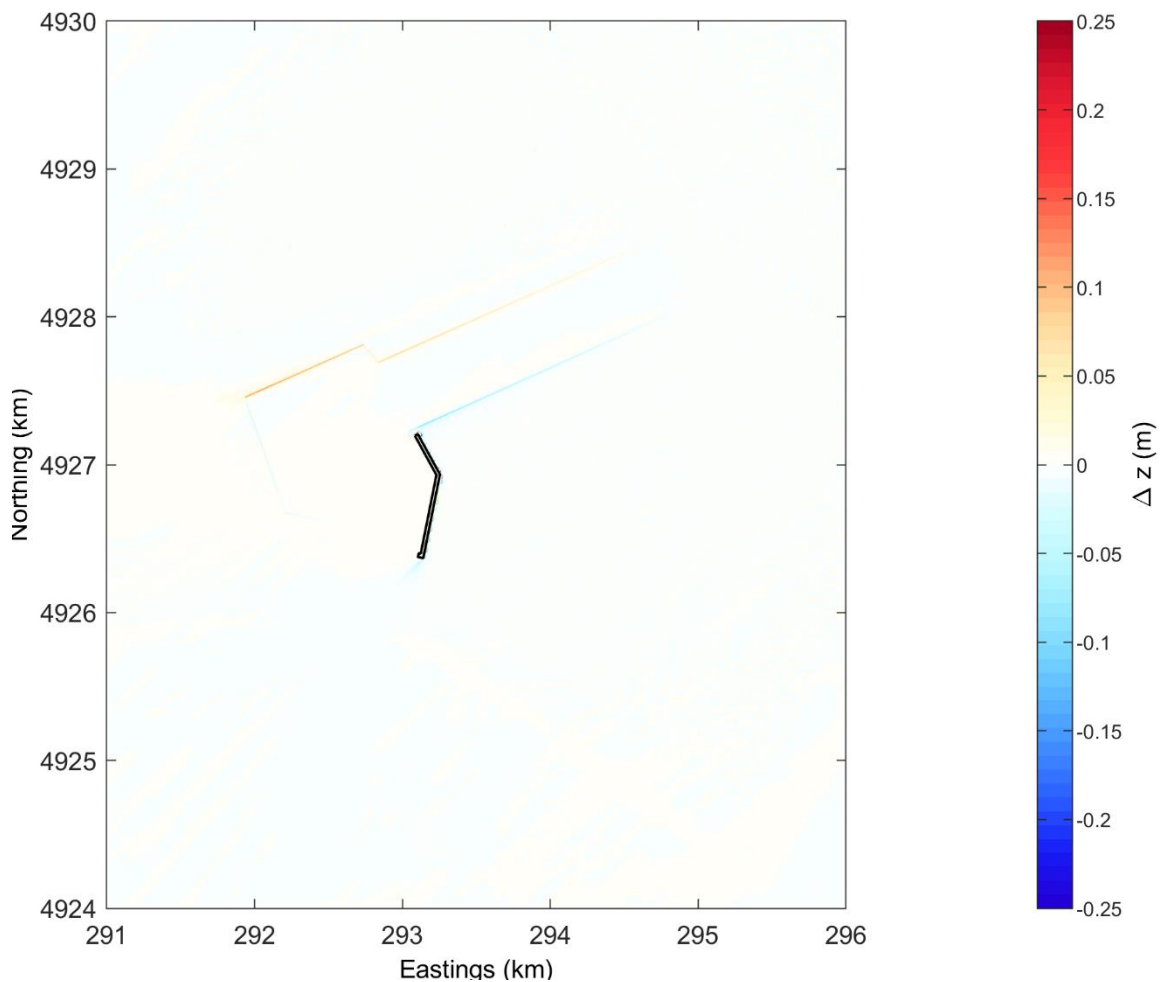
Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3303-005



**Figura 9-3 Portata del trasporto solido per lo scenario SI-2**

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17093</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 39 di 42	<b>Rev.</b> 0F

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3303-005



**Figura 9-4** Variazione cumulata del fondale nelle 12h di mareggiata simulate per lo scenario SI-2

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17093</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 40 di 42	<b>Rev.</b> 0F

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3303-005

### 9.1.3 Simulazioni SII-1

In questo scenario si sono utilizzati i seguenti parametri:

- moto ondoso incidente da largo:  $H_s = 2,5$  m;  $T_p = 7.24$  s;  $Dir = 120^\circ$  N;
- vento: 11,02 m/s;  $Dir = 120^\circ$  N.

Nella Figura 9-5 sono riportati i risultati espressi in termini portata di trasporto solido.

Nella Figura 9-6 sono riportati i risultati relativi ai cambiamenti morfologici del fondo cumulati al termine delle 12h di simulazione con forzanti costanti. Anche in questo caso sia il trasporto solido che le variazioni di fondale sono trascurabili.

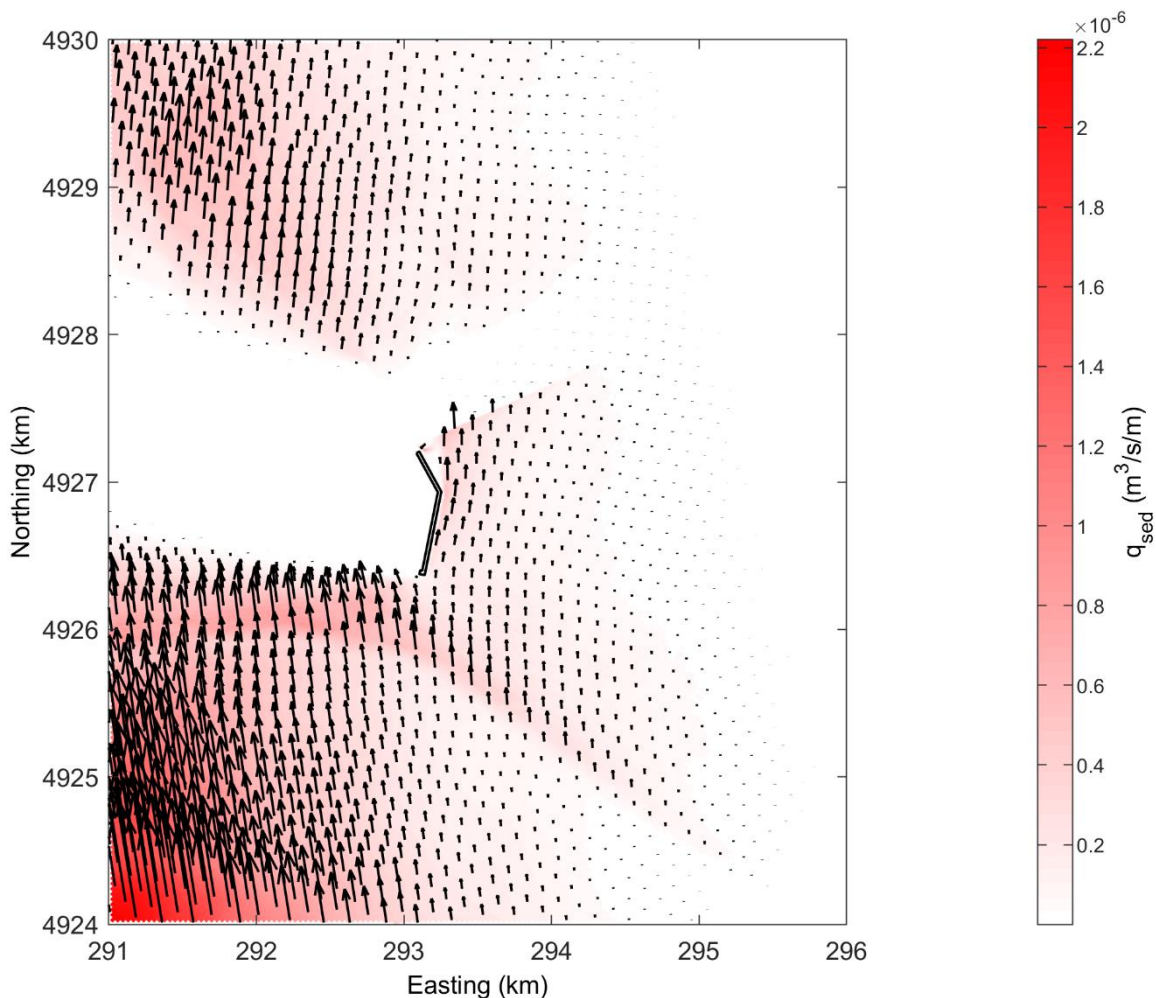
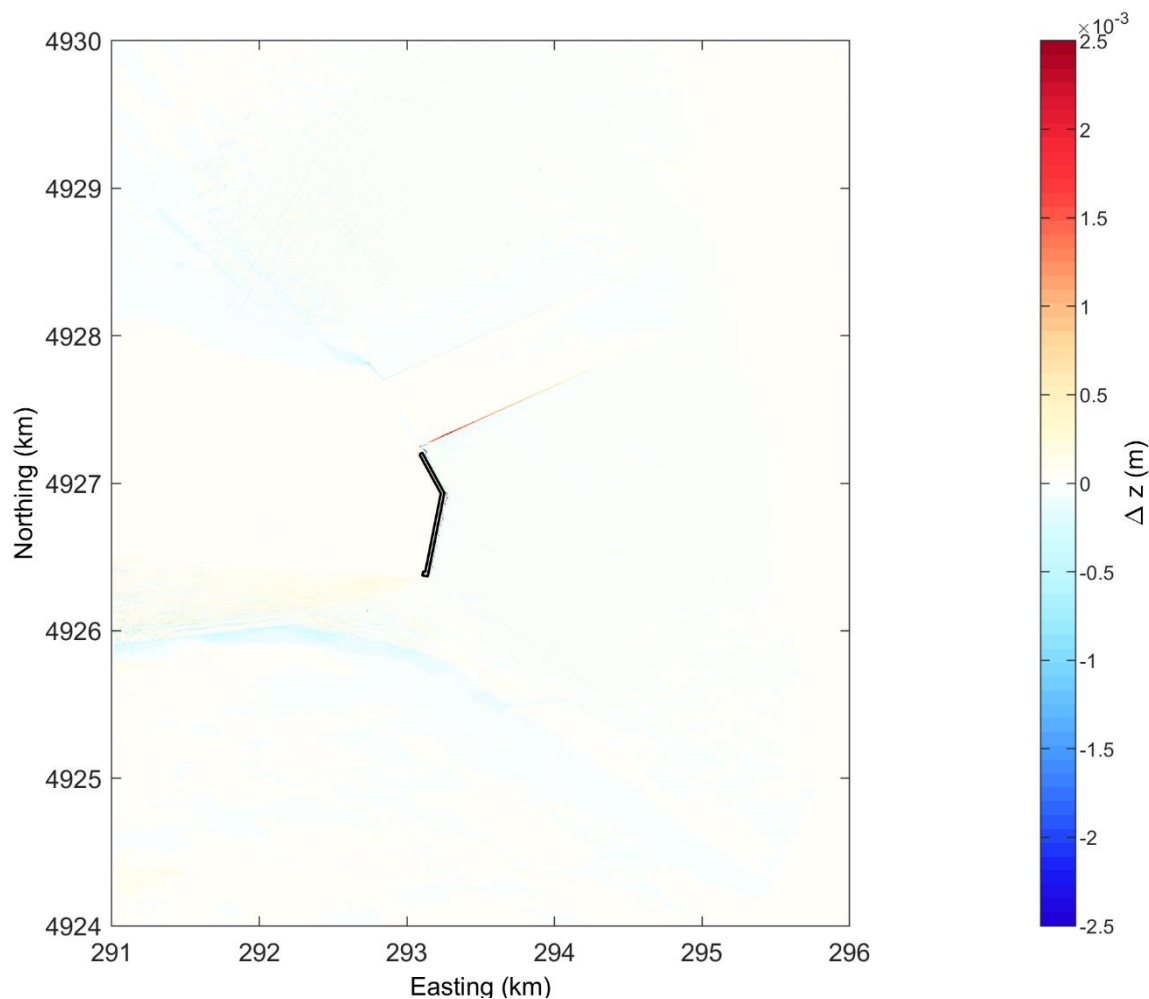


Figura 9-5 Portata del trasporto solido per lo scenario SII-1

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17093</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 41 di 42	<b>Rev.</b> 0F

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3303-005



**Figura 9-6 Variazione cumulata del fondale nelle 12h di mareggiata simulate per lo scenario SII-1**



	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22199	<b>UNITA'</b> 000
	<b>LOCALITA'</b> RAVENNA (RA)	<b>000-ZA-E-17093</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 42 di 42	<b>Rev.</b> 0F

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3303-005

## 10 CONCLUSIONI

Le analisi effettuate hanno confermato, come era possibile ipotizzare, che l'impatto della nuova opera foranea sulla morfologia costiera risulta pressoché nullo sia a "*breve termine*", sia a "*lungo termine*".

Questo risultato è legato al fatto che il rapporto tra la dimensione longitudinale della nuova diga foranea, indicata nel seguito con B che è nell'ordine del chilometro, e la distanza della costa, indicata nel seguito con S che è pari a circa 8,5 km, risulta molto piccolo.

Infatti, con riferimento a Silvester & Hsu (1977) ("Coastal Stabilization", edizione World Scientific) per valori del rapporto B/S inferiori a 0,5 (nel presente caso  $B/S \approx 0,11$ ) il possibile saliente indotto dall'opera foranea sulla costa tende velocemente a zero e quindi l'opera foranea non è in grado di modificare la forma planimetrica delle spiagge poste sottoflutto.

Per quanto riguarda le variazioni di fondale che possono essere causate dalla nuova diga nell'area posta nel suo intorno, le simulazioni effettuate hanno mostrato che solo la condizione di moto ondoso massima simulata, caratterizzata da un valore di altezza d'onda significativa  $H_s = 3,5$  m, è in grado dar luogo, con una durata dello stato di mare di 12h, a modeste variazioni di fondale le quali sono localizzate solo lungo le scarpate dell'area dragata con valori di circa  $\pm 0.12$  m e non all'interno delle zone dragate. Sostanzialmente quindi si tratta di un fenomeno di risagomatura delle scarpate di dragaggio le quali sono state assunte in progetto pari a 1:5.

Tenendo conto che la frequenza di superamento media annuale dell' $H_s = 3,0$  m è pari a solo 0,138 %, (vedi Tabella 6-1), valore che corrisponde a circa 12 ore/anno, si può ragionevolmente affermare che le variazioni di fondale attese nella zona posta nell'intorno della diga e soprattutto nella zona interna del dragaggio siano mediamente modeste durante l'anno medio climatico (*variazioni a lungo termine*). Tuttavia, non si esclude che in occasione di eventi particolarmente estremi queste variazioni possano essere di maggiori entità (*variazioni a breve termine*). Pertanto, si ritiene che le aree dragate dovranno essere oggetto di una attività di monitoraggio finalizzata a valutare eventuali interventi di manutenzione dei fondali che comunque in sede di progettazione sono risultati modesti.

Occorre far presente che i cassoni costituenti la diga frangiflutti sono dotati di celle antiriflettenti sia sul paramento esterno della diga, sia sul suo paramento interno, allo scopo di ridurre l'altezza d'onda riflessa dall'opera e quindi anche il trasporto solido indotto dal moto ondoso.

L'adozione di celle antiriflettenti consente inoltre di ridurre il moto ondoso lungo il canale di navigazione posto ad Est della diga e l'agitazione ondosa nella sua zona protetta dove verrà ormeggiata la FSRU e la nave "carrier".