

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITA' RAVENNA (RA)	000-ZA-E-17076	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 1 di 44	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-002

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 dell'impatto dell'opera di protezione della FSRU sulla circolazione
marina e sui fondali, nel breve e lungo periodo

0	Emissione per Permessi	P.De Girolamo	L. Fantera	V.Forlivesi P. Russo	SETT. 2022
Rev.	Descrizione	Elaborato	Verificato	Approvato Autorizzato	Data

Documento di proprietà **Snam**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITA' RAVENNA (RA)	000-ZA-E-17076	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 2 di 44	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-002

INDICE

1	INTRODUZIONE	3
1.1	Obiettivi e metodologia di lavoro.	3
2	DATI UTILIZZATI	6
2.1	Dati di vento	6
2.2	Dati di moto ondoso	6
2.3	Dati batimetrici di riferimento	6
3	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DEL SITO DI INTERESSE	8
4	CONFIGURAZIONE DELLA NUOVA DIGA MARITTIMA DI RIFERIMENTO	10
5	DEFINIZIONE DEGLI SCENARI DI MOTO ONDO SO E DI VENTO	12
5.1	Scenari di moto ondoso	12
5.2	Condizioni di vento da associare agli scenari di moto ondoso	14
5.3	Scenari di moto ondoso e di vento analizzati	15
5.4	Definizione caratteristiche sedimenti	16
6	IMPOSTAZIONE DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE	17
6.1	Modelli numerici utilizzati	17
6.2	Griglie di calcolo	17
6.3	Condizioni al contorno e modalità esecutive delle simulazioni	21
7	ANALISI DELL'IMPATTO DELLA NUOVA DIGA MARITTIMA SULLA DINAMICA COSTIERA	22
7.1	Scenari Settore I (Grecale)	22
7.2	Scenari Settore II (Scirocco)	28
7.3	Comparazione tra H_{rms} e V tra stato attuale e di progetto per una sezione posizionata all'incirca lungo la batimetrica -8 m	33
8	TRASPORTO DEI SEDIMENTI NELL'INTORNO DELLA DIGA	35
9	RISULTATI CONCLUSIVI E SINTESI	44

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITA' RAVENNA (RA)	000-ZA-E-17076	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 3 di 44	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-002

1 INTRODUZIONE

Il presente rapporto descrive lo studio dell'impatto dell'opera di protezione della FSRU (Floating Storage and Regasification Unit) sulla circolazione marina e sui fondali.

Per la redazione del presente studio si è supposto che l'ormeggio della FSRU sia localizzato a Sud-Est del Porto di Ravenna, dove attualmente è situata l'esistente piattaforma offshore Petra (società del gruppo PIR).

Lo studio è stato eseguito dalla Modimar Project s.r.l., con l'integrazione delle prestazioni specialistiche curata dall'Ing Marco Tartaglini. In particolare, il presente studio è stato curato dal punto di vista tecnico-scientifico dal Prof. Ing. Paolo De Girolamo che si è avvalso della collaborazione dell'Ing. Gioele Ruffini, Ph.D. e della Dott.ssa Ing. Myrta Castellino, Ph.D.

1.1 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 quale conformazione planimetrica della nuova diga marittima la "Configurazione A.2.1" (che corrisponde all'Alternativa A ottimizzata), la cui lunghezza complessiva in pianta è di circa 960 m, con distanza tra le testate pari a circa 870 m.

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.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITA' RAVENNA (RA)	000-ZA-E-17076	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 4 di 44	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-002

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

- una condizione ondametrica 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 "*lungo termine*" (caratterizzati da una scala temporale nell'ordine di mesi o anni), sia eventi meteomarini 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 ondametrico direzionale ricostruito in ri-analisi a largo della nuova diga marittima su fondali di circa -25,0 m sul l.m.m.

Il clima ondametrico direzionale è stato definito sulla base della serie storica ondametrica 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, oltre che 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.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITA' RAVENNA (RA)	000-ZA-E-17076	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 5 di 44	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-002

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 come detto è pari a circa 0,96 km 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, 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.

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.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITA' RAVENNA (RA)	000-ZA-E-17076	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 6 di 44	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-002

2 DATI UTILIZZATI

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

Con riferimento alla Figura 2-1, 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.

2.1 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 2-1 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 2-1 - Dati anemometrici acquisiti.

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

2.2 Dati di moto ondoso

I dati di moto ondoso utilizzati sono relativi allo stesso punto di griglia dei dati di vento (Figura 2-1 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 2-2 - Dati ondometrici acquisiti.

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

2.3 Dati batimetrici di riferimento

Per condurre il presente studio si è fatto riferimento ai dati batimetrici riportati dalla "Carta Batimetrica area di progetto LNG Ravenna" emessa dalla Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Centro-Settentrionale in data 22/07/2022. Questi dati sono stati integrati con quelli delle carte nautiche recenti disponibili per la zona in esame e con il database EMODNET.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITA' RAVENNA (RA)	000-ZA-E-17076	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 7 di 44	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-002

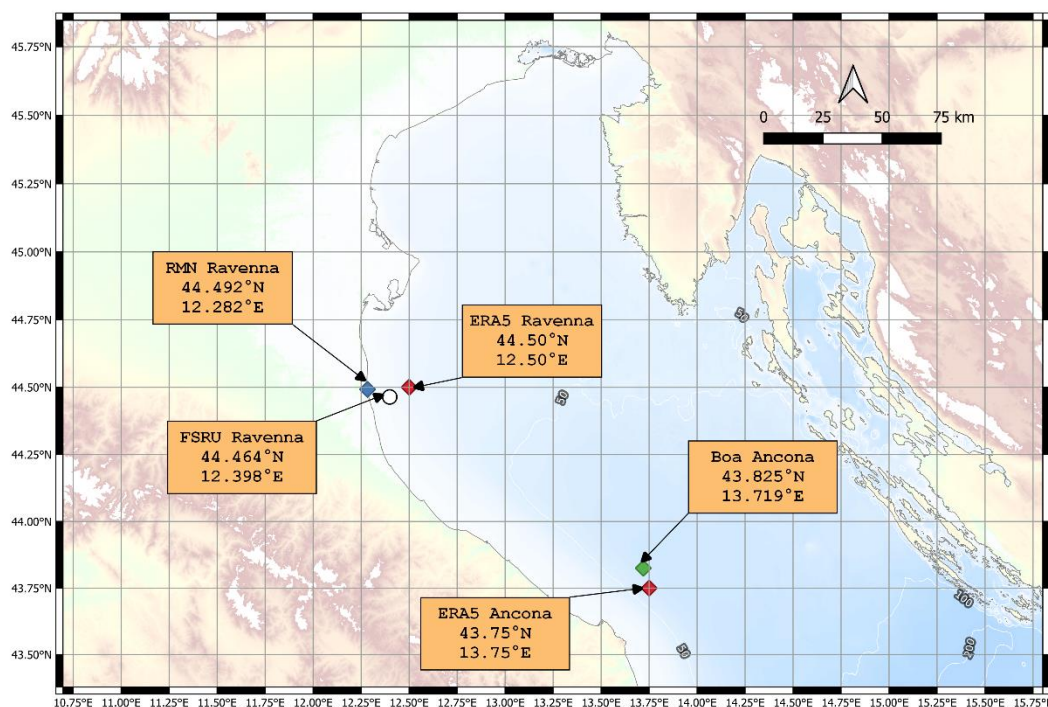


Figura 2-1 - Localizzazione geografica dei dati utilizzati e del sito dove sorgerà il nuovo terminale marittimo indicato nella figura con FSRU Ravenna.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITA' RAVENNA (RA)	000-ZA-E-17076	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 8 di 44	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-002

3 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DEL SITO DI INTERESSE

Con riferimento alla Figura 3-1, 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 3-2 e Figura 3-3) indicata anche pontile PIR.

Con riferimento alla Figura 3-3, 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 3-1) 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.

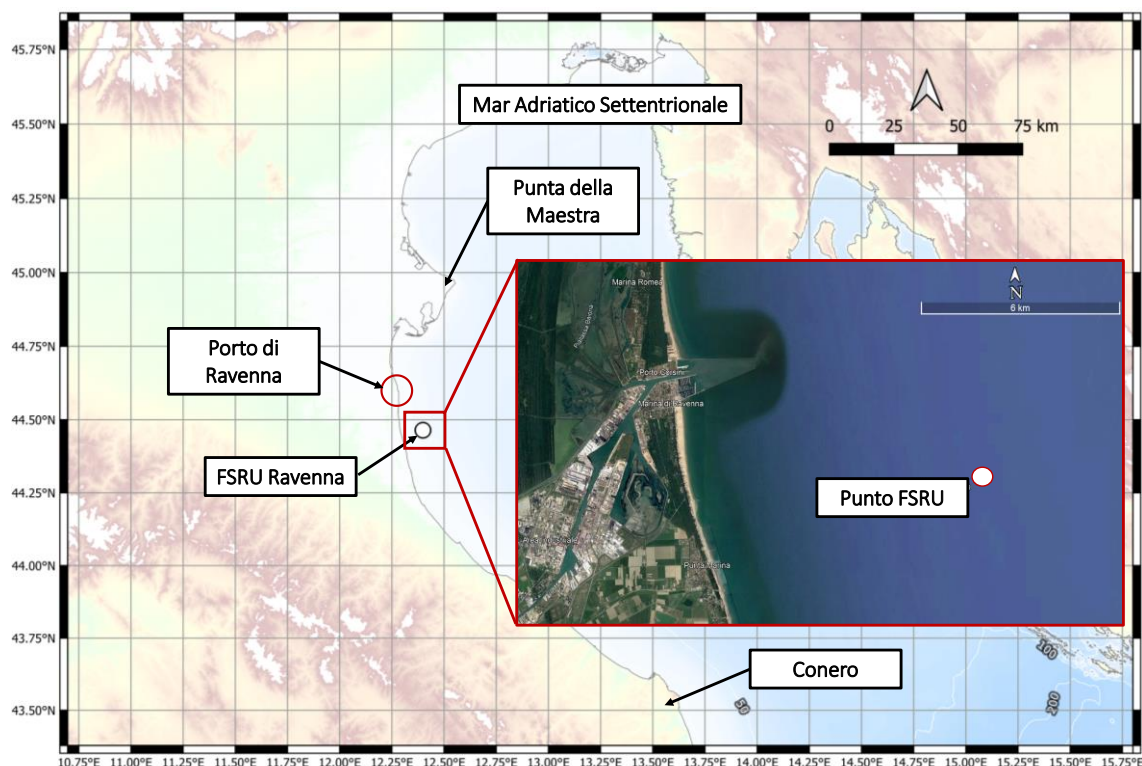


Figura 3-1 - Inquadramento geografico della FSRU Ravenna.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITA' RAVENNA (RA)	000-ZA-E-17076	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 9 di 44	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-002



Figura 3-2 - Stato attuale del Pontile Offshore Petra (Pontile PIR) esistente.

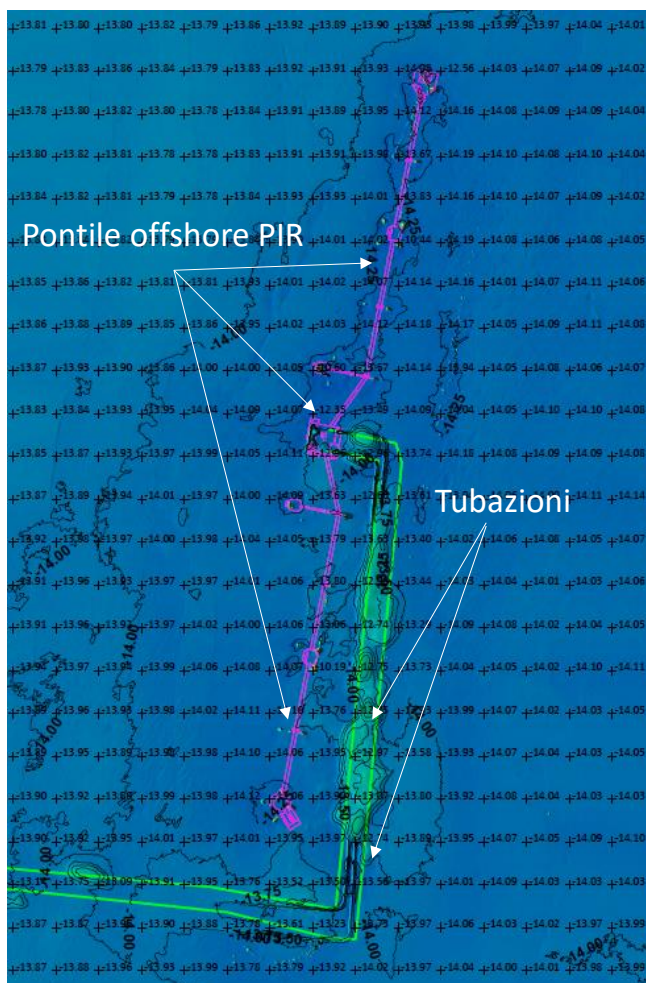


Figura 3-3 - Planimetria del Pontile Offshore Petra (Pontile PIR) esistente.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITA' RAVENNA (RA)	000-ZA-E-17076	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 10 di 44	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-002

4 CONFIGURAZIONE DELLA NUOVA DIGA MARITTIMA DI RIFERIMENTO

La configurazione della nuova diga marittima che è stata presa in esame per eseguire le simulazioni numeriche (denominata Alternativa A.2.1 che corrisponde alla Alternativa A ottimizzata) è riportata nella Figura 4-1.

Nella stessa figura è mostrata la rosa ondamentrica media annuale calcolata in corrispondenza del punto ERA5 Ravenna di Figura 2-1. La rosa ondamentrica mostra chiaramente un regime di moto ondoso di tipo bimodale, con onde provenienti prevalentemente da NE (Grecale) e da SE (Scirocco).

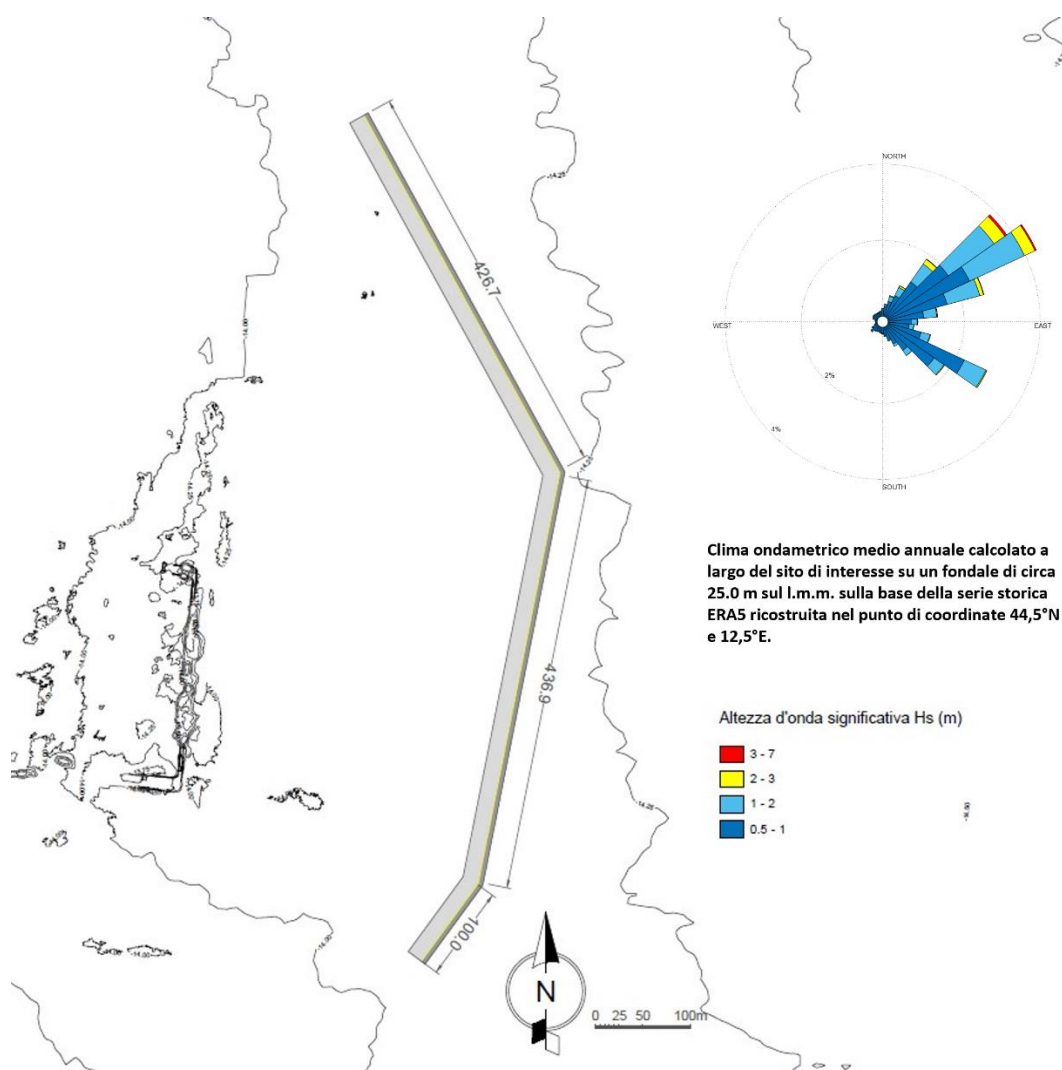


Figura 4-1 - Planimetria della nuova diga marittima con la rosa ondamentrica media climatica derivata dal punto di acquisizione ERA5 Ravenna di coordinate 44.50°N – 12.50°E.

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

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITA' RAVENNA (RA)	000-ZA-E-17076	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 11 di 44	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-002

Tabella 4-1 - 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	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

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITA' RAVENNA (RA)	000-ZA-E-17076	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 12 di 44	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-002

5 DEFINIZIONE DEGLI SCENARI DI MOTO ONDOSO E DI VENTO

5.1 Scenari di moto ondoso

Per definire gli scenari di moto ondoso da prendere in esame si è fatto riferimento alla tabella climatica media annuale (vedi Tabella 4-1) ricostruita su circa 42 anni di dati di moto ondoso orari, dove gli stati di mare sono stati classificati in funzione della loro altezza d'onda significativa (H_s) e direzione di provenienza.

Tenendo conto del limitato tempo a disposizione e della complessità delle simulazioni numeriche eseguite, e quindi dovendo necessariamente ridurre il numero di scenari da prendere in esame, in primo luogo si è deciso di puntare l'attenzione alle due direzioni di provenienza del moto ondoso più frequenti le quali, come chiaramente mostrato dalla rosa ondometrica di Figura 4-1, sono costituite dagli stati di mare provenienti:

- dal I quadrante con direzione media di circa 45° N (Grecale);
- e dal II quadrante con direzione media di circa 120° 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 ondoso (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 quindi si sono costruiti cinque scenari di moto ondoso:

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

Nella Tabella 5-1, tratta dalla corrispondente Tabella 4-1, 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.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITA' RAVENNA (RA)	000-ZA-E-17076	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 13 di 44	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-002

Tabella 5-1 - 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	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00		
	0.25	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

Nella Tabella 5-2 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*.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITA' RAVENNA (RA)	000-ZA-E-17076	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 14 di 44	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-002

Tabella 5-2 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 meteomarinò per il settore di Grecale e per il settore di Scirocco, richiamate nella Figura 5-1.

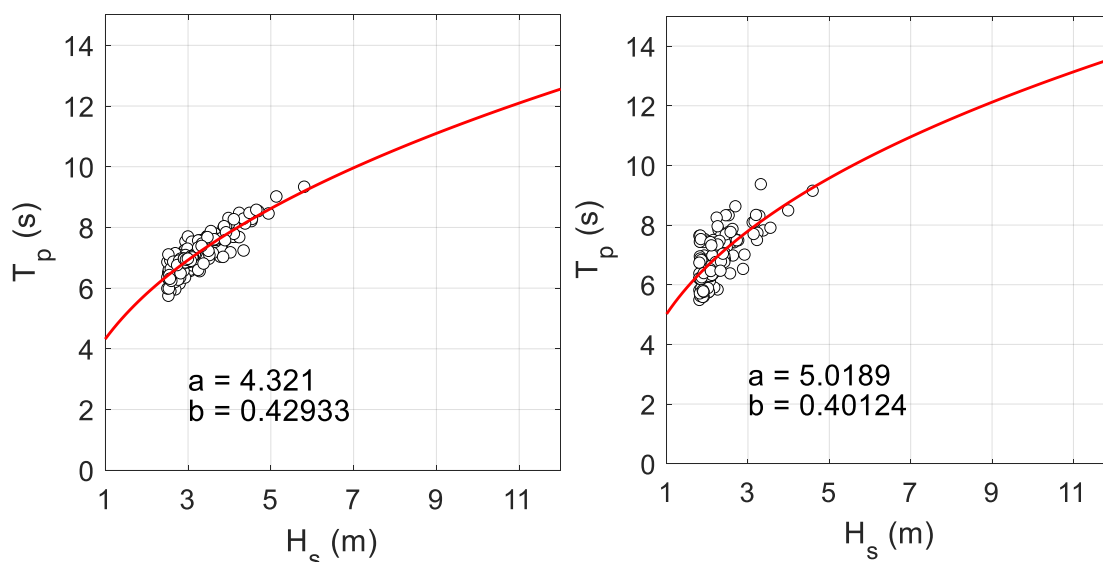


Figura 5-1 Correlazione H_s - T_p per il settore di grecale (sinistra) e il settore di scirocco (destra).

5.2 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

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITA' RAVENNA (RA)	000-ZA-E-17076	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 15 di 44	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-002

quota + 10 m sul l.m.m.) individuate nello studio meteomarinario per il settore di Grecale e per il settore di Scirocco, richiamate nella Figura 5-2. Per quanto riguarda la direzione del vento si è assunto che questa sia coincidente con quella del moto ondoso.

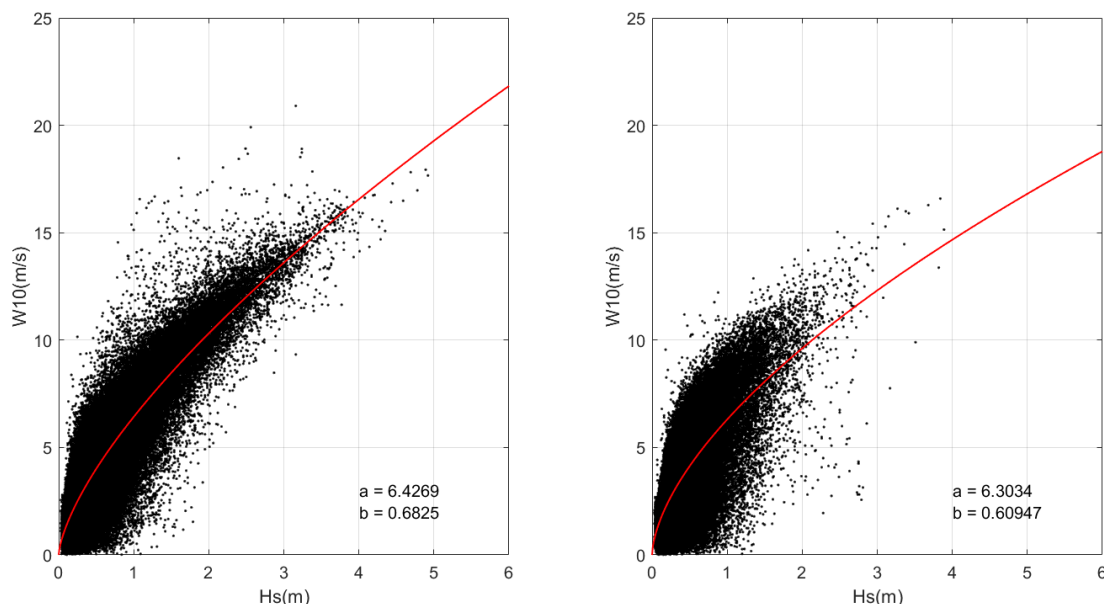


Figura 5-2 Legge Hs-W10 per il settore di grecale (sinistra) e il settore di scirocco (destra).

5.3 Scenari di moto ondoso e di vento analizzati

Nella Tabella 5-2 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.

Come indicato nel seguito, ciascuna delle cinque 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.

Tabella 5-3 Scenari di moto ondoso e di vento simulati.

Settore I				
ID	Hs (m)	Tp (s)	Dir (° N)	W10 (m/s)
SI-1	1.5	5.14	45	8.47
SI-2	2.5	6.4	45	12.01
SI-3	3.5	7.4	45	15.11
Settore II				
SII-1	1.5	5.9	120	8.1
SII-2	2.5	7.24	120	11.02

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITA' RAVENNA (RA)	000-ZA-E-17076	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 16 di 44	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-002

5.4 Definizione caratteristiche sedimenti

Purtroppo allo stato attuale non sono disponibili informazioni sulle caratteristiche superficiali dei sedimenti.

Pertanto, 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 $D_{50} = 200 \mu$.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITA' RAVENNA (RA)	000-ZA-E-17076	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 17 di 44	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-002

6 IMPOSTAZIONE DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE

6.1 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.

6.2 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 6-1 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

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITA' RAVENNA (RA)	000-ZA-E-17076	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 18 di 44	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-002

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.

Come si vede dalla Figura 6-1, 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 6-1 tranne per il fatto che non è stata simulata la presenza della diga.

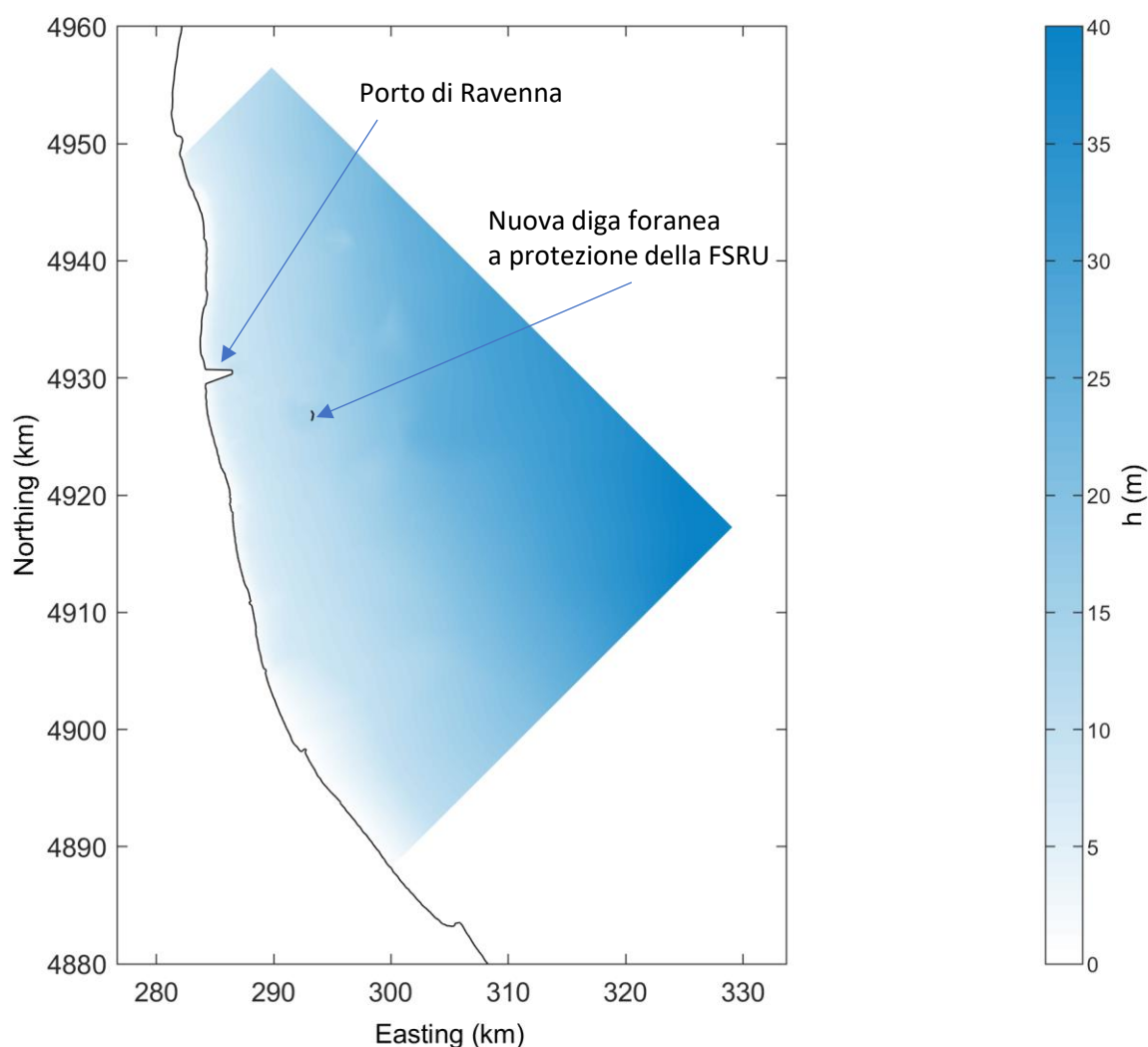


Figura 6-1 Griglia di calcolo

La Figura 6-2 e la Figura 6-3 mostrano due particolari della griglia di calcolo.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITA' RAVENNA (RA)	000-ZA-E-17076	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 19 di 44	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-002

In particolare, nella Figura 6-2 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.

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 posta in prossimità della 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 6-1) 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°.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITA' RAVENNA (RA)	000-ZA-E-17076	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 20 di 44	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-002

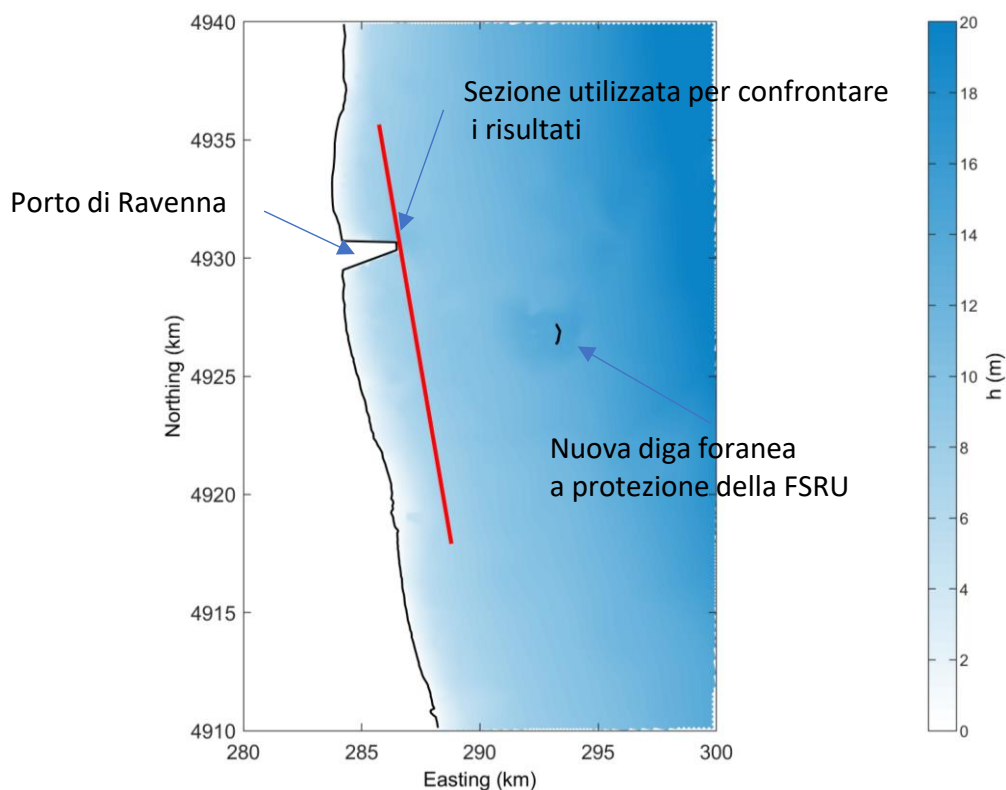


Figura 6-2 Particolare della griglia di calcolo nella zona circostante il porto di Ravenna e la nuova diga foranea. In rosso è riportata la sezione considerata per l'analisi dei risultati di confronto tra stato attuale e lo stato di progetto.

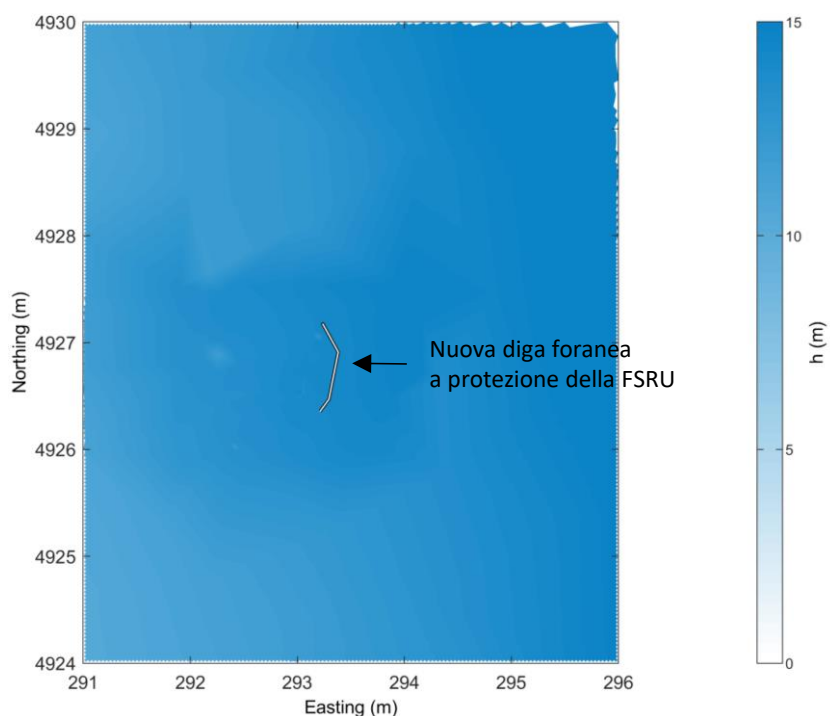


Figura 6-3 Particolare della griglia di calcolo nei pressi della nuova diga foranea.

Documento di proprietà **Snam**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITA' RAVENNA (RA)	000-ZA-E-17076	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 21 di 44	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-002

6.3 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 6-1).

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 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.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITA' RAVENNA (RA)	000-ZA-E-17076	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 22 di 44	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-002

7 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 cinque 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 6-2.

7.1 Scenari Settore I (Grecale)

7.1.1 Simulazioni SI-1 senza diga e con diga

In questo scenario si sono utilizzati i seguenti parametri:

- moto ondoso incidente da largo: $H_s = 1,5$ m; $T_p = 5.14$ s; $Dir = 45^\circ$ N;
- vento: 8,47 m/s $Dir = 45^\circ$ N.

Nella Figura 7-1 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 7-2 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 7-3 sono riportati i risultati relativi ai campi di velocità nell'intorno della nuova diga foranea.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITA' RAVENNA (RA)	000-ZA-E-17076	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 23 di 44	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-002

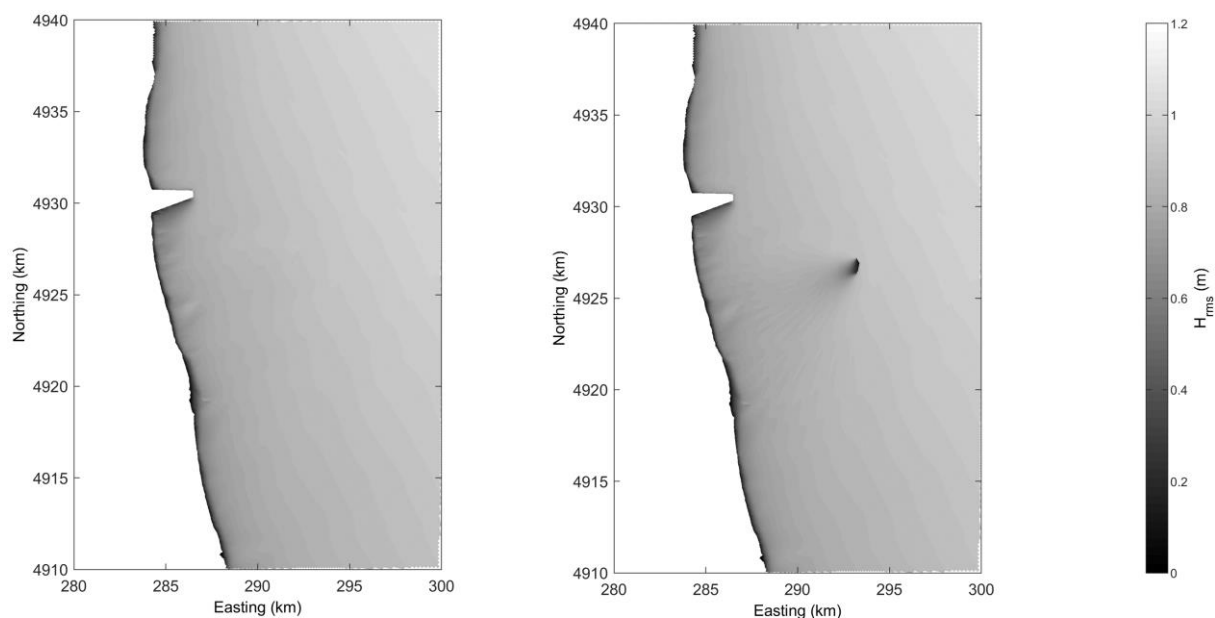


Figura 7-1 Campi di Hrms per lo stato attuale (sinistra) e di progetto (destra) per lo scenario SI-1.

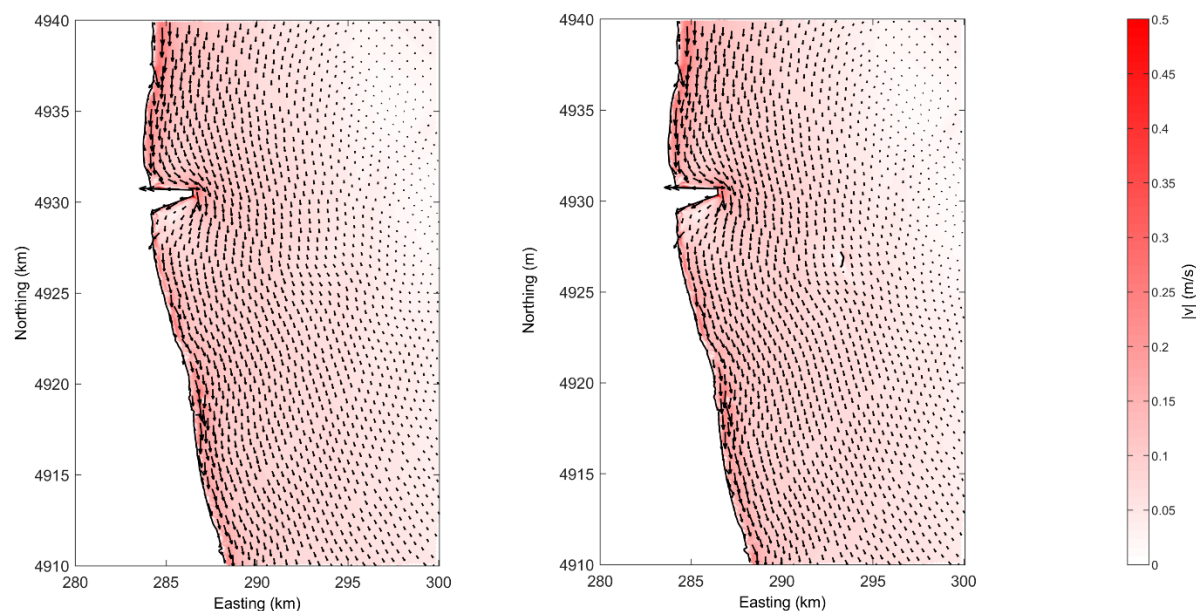


Figura 7-2 Campi di velocità della corrente per lo stato attuale (sinistra) e di progetto (destra) per lo scenario SI-1.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITA' RAVENNA (RA)	000-ZA-E-17076	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 24 di 44	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-002

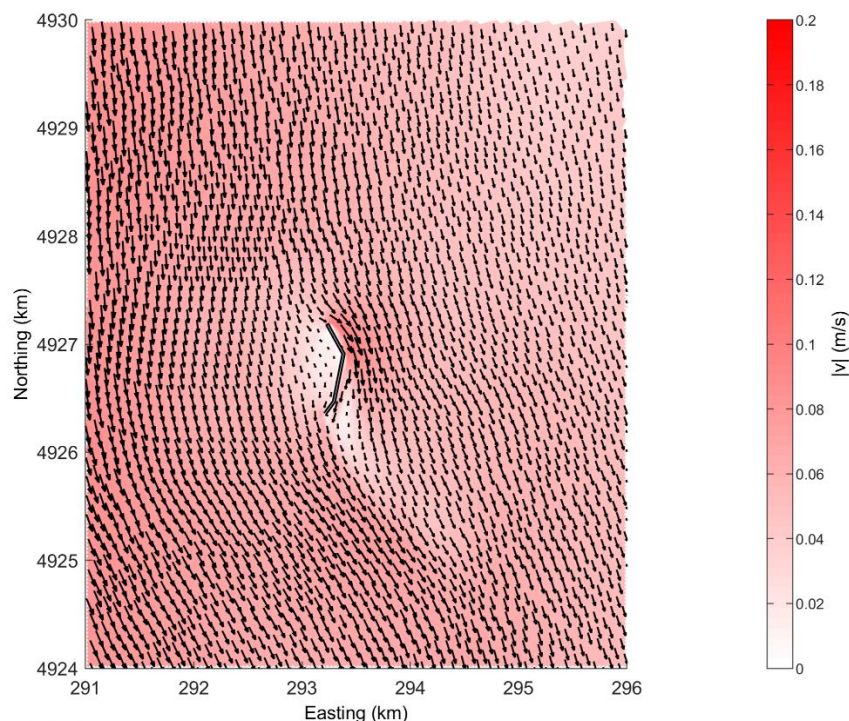


Figura 7-3 Campi di velocità della corrente per lo stato di progetto per lo scenario SI-1 nella zona prospiciente la diga.

7.1.2 Simulazioni SI-2 senza diga e con diga

In questo scenario si sono utilizzati i seguenti parametri:

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

Nella Figura 7-4 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 7-5 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 7-6 sono riportati i risultati relativi ai campi di velocità nell'intorno della nuova diga foranea.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITA' RAVENNA (RA)	000-ZA-E-17076	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 25 di 44	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-002

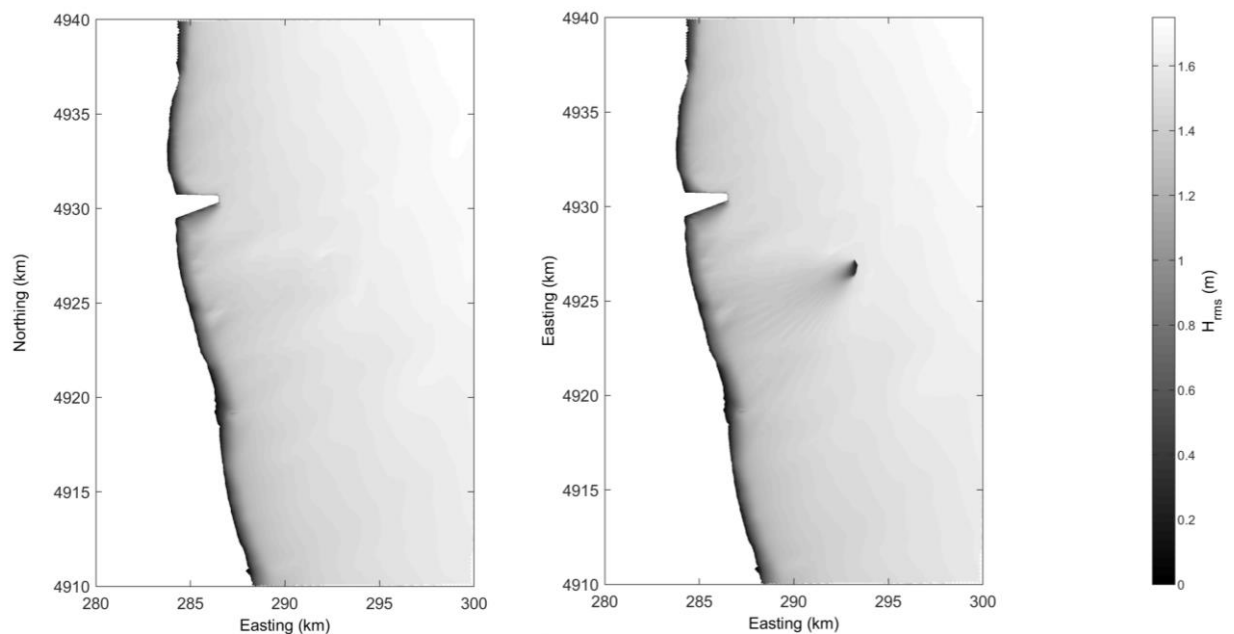


Figura 7-4 Campi di H_{rms} per lo stato attuale (sinistra) e di progetto (destra) per lo scenario SI-2.

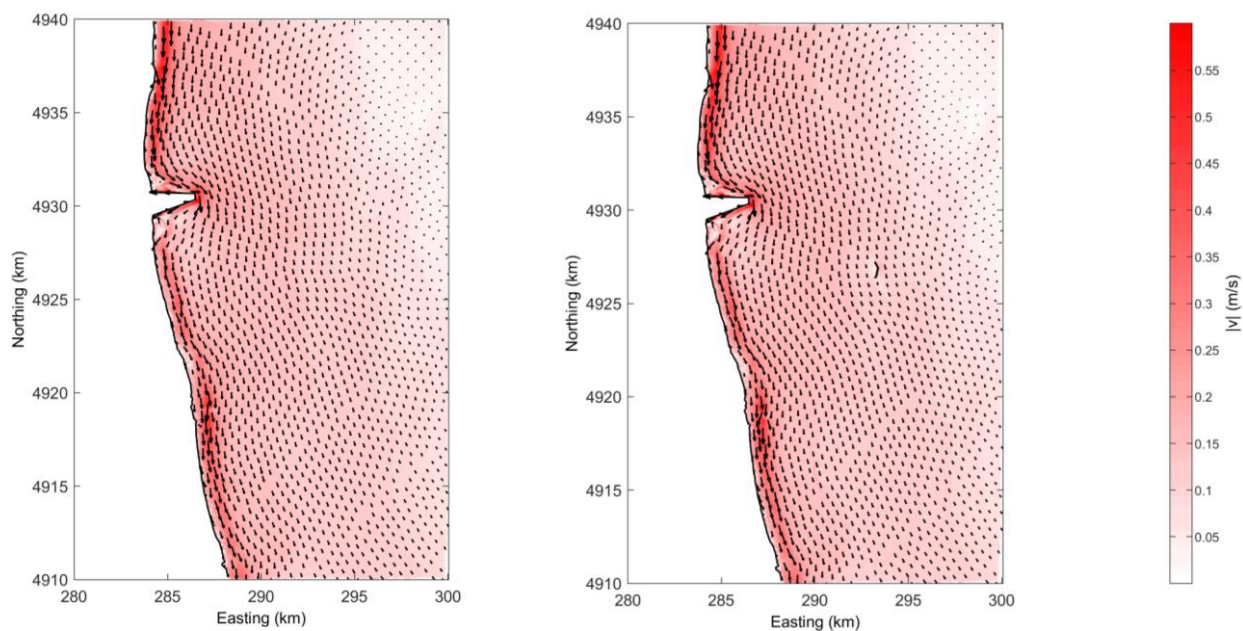


Figura 7-5 Campi di velocità della corrente per lo stato attuale (sinistra) e di progetto (destra) per lo scenario SI-2.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITA' RAVENNA (RA)	000-ZA-E-17076	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 26 di 44	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-002

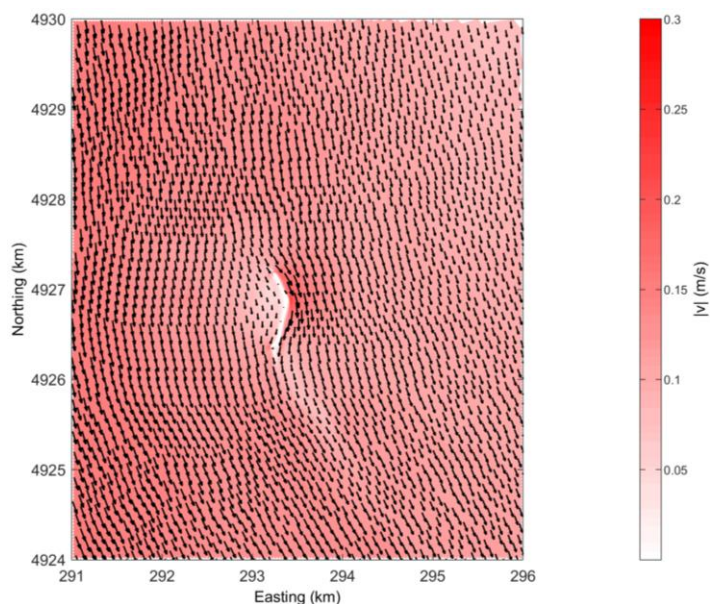


Figura 7-6 Campi di velocità della corrente per lo stato di progetto per lo scenario SI-2 nella zona prospiciente la diga

7.1.3 Simulazioni SI-3 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° N;
- vento: 15,11 m/s; Dir= 45° N.

Nella Figura 7-7 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 7-8 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 7-9 sono riportati i risultati relativi ai campi di velocità nell'intorno della nuova diga foranea.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITA' RAVENNA (RA)	000-ZA-E-17076	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 27 di 44	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-002

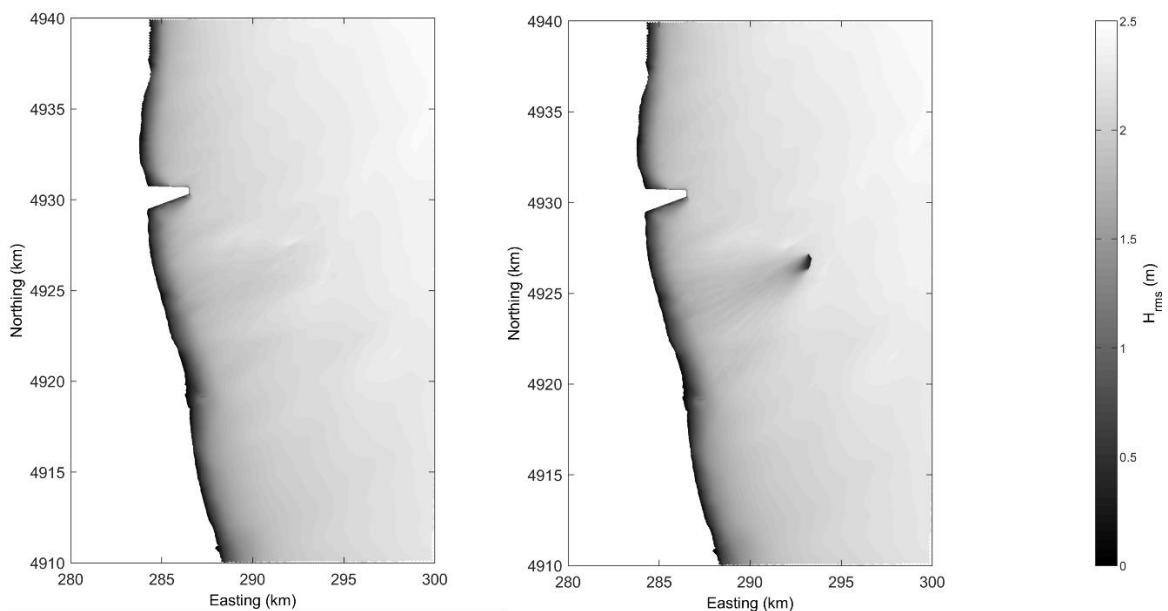


Figura 7-7 Campi di H_{rms} per lo stato attuale (sinistra) e di progetto (destra) per lo scenario SI-3.

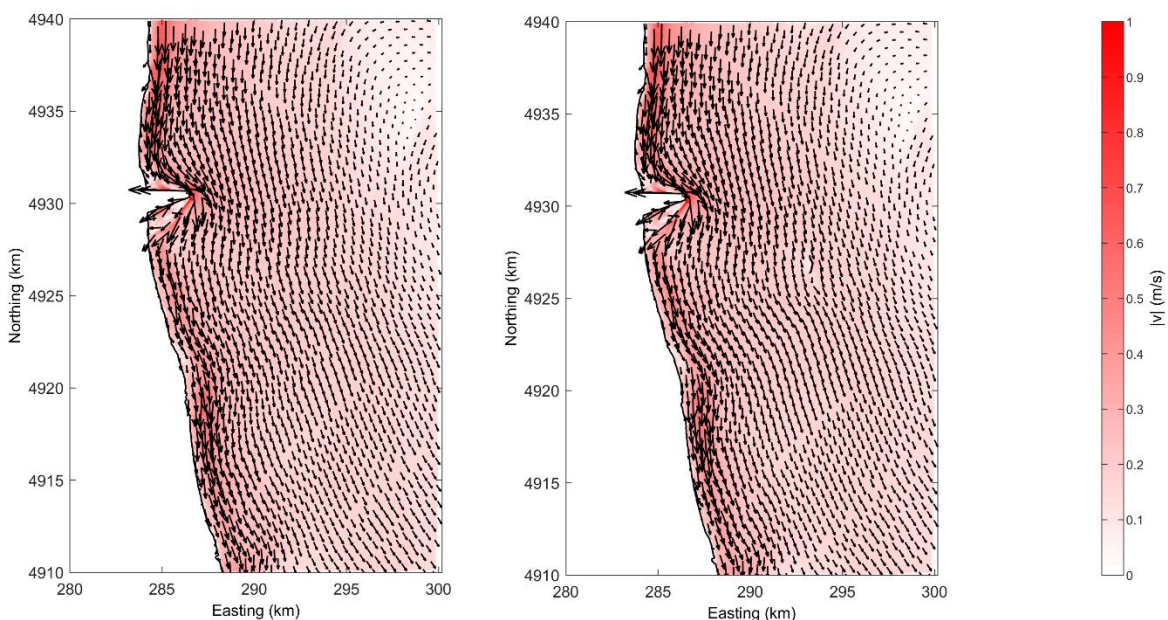


Figura 7-8 Campi di velocità della corrente per lo stato attuale (sinistra) e di progetto (destra) per lo scenario SI-3.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITA' RAVENNA (RA)	000-ZA-E-17076	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 28 di 44	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-002

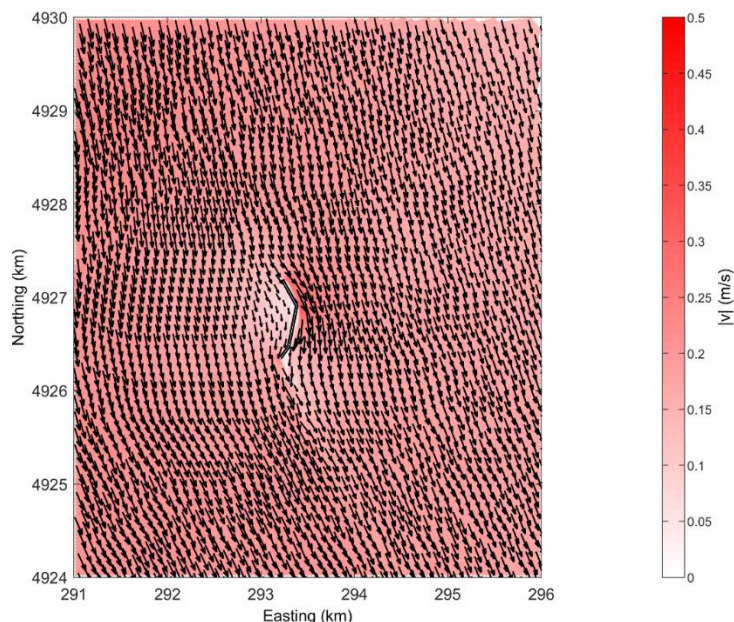


Figura 7-9 Campi di velocità della corrente per lo stato di progetto per lo scenario SI-3 nella zona prospiciente la diga.

7.2 Scenari Settore II (Scirocco)

7.2.1 Simulazioni SII-1 senza diga e con diga

In questo scenario si sono utilizzati i seguenti parametri:

- moto ondoso incidente da largo: $H_s = 1,5$ m; $T_p = 5.9$ s; $Dir = 120^\circ$ N;
- vento: 8,1 m/s; $Dir = 120^\circ$ N.

Nella Figura 7-10 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 7-11 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 7-12 sono riportati i risultati relativi ai campi di velocità nell'intorno della nuova diga foranea.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITA' RAVENNA (RA)	000-ZA-E-17076	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 29 di 44	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-002

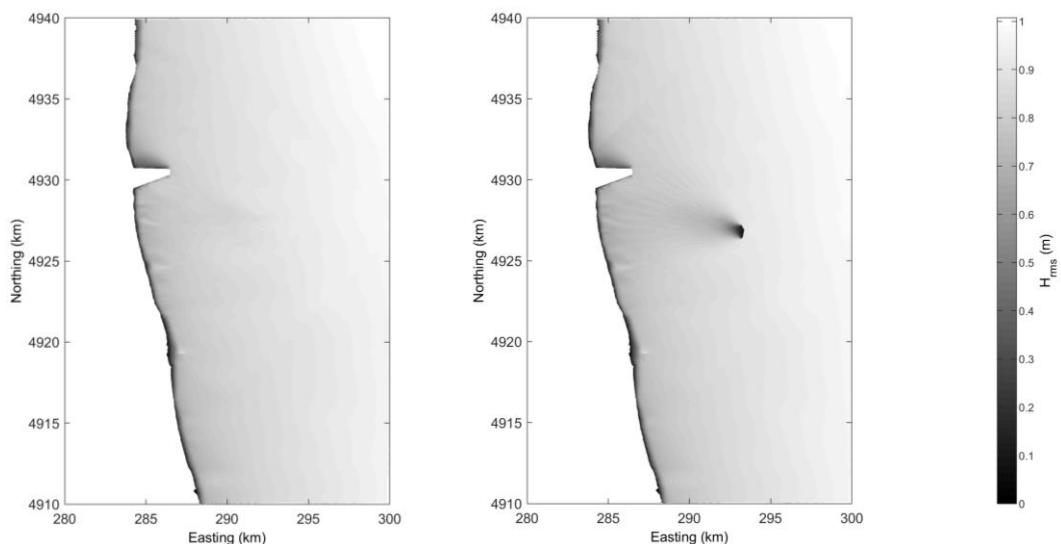


Figura 7-10 Campi di H_{rms} per lo stato attuale (sinistra) e di progetto (destra) per lo scenario SII-1.

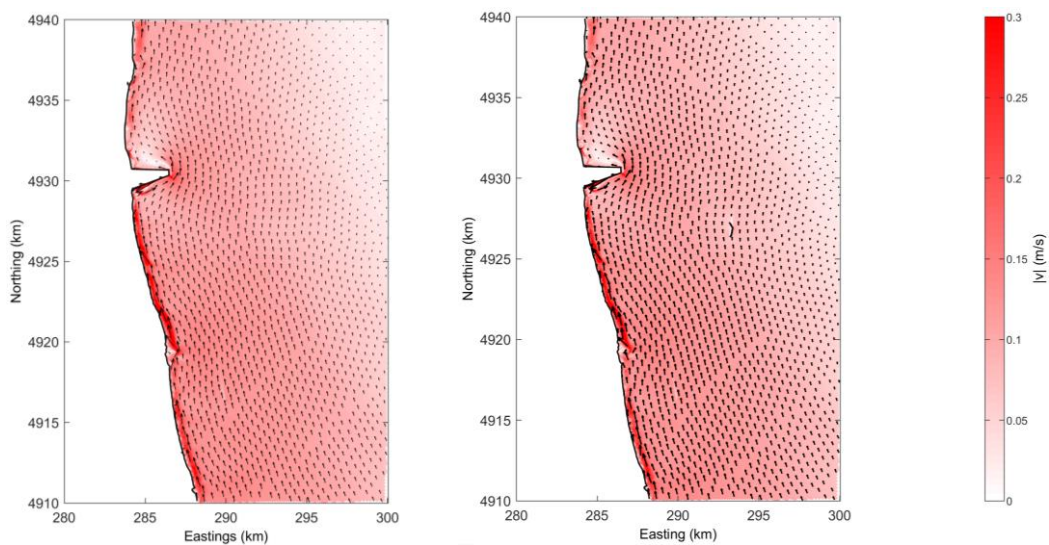


Figura 7-11 Campi di velocità della corrente per lo stato attuale (sinistra) e di progetto (destra) per lo scenario SII-1.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITA' RAVENNA (RA)	000-ZA-E-17076	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 30 di 44	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-002

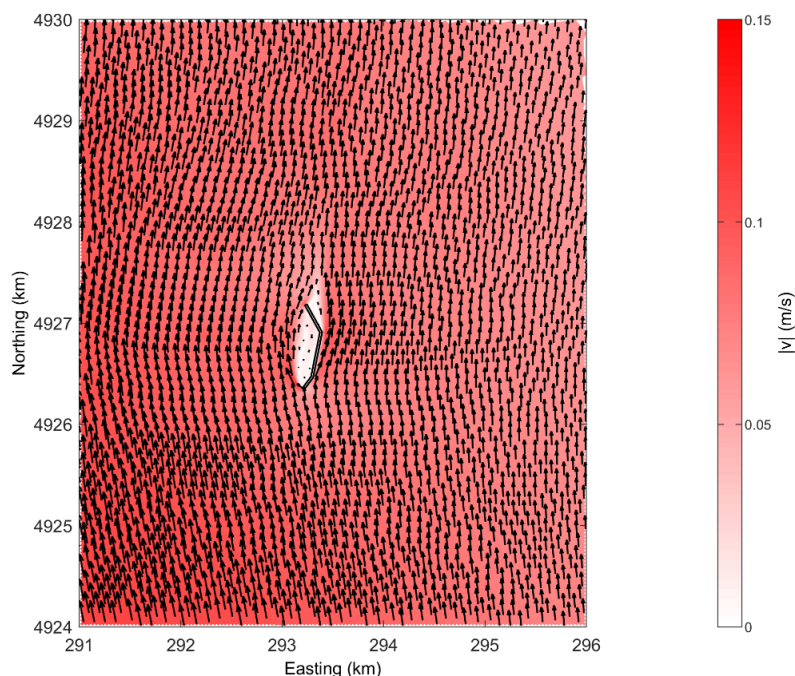


Figura 7-12 Campi di velocità della corrente per lo stato di progetto per lo scenario SII-1 nella zona prospiciente la diga.

7.2.2 Simulazioni SII-2 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° N;
- vento: 11,02 m/s; Dir= 120° N.

Nella Figura 7-13 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 7-14 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 7-15 sono riportati i risultati relativi ai campi di velocità nell'intorno della nuova diga foranea.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITA' RAVENNA (RA)	000-ZA-E-17076	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 31 di 44	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-002

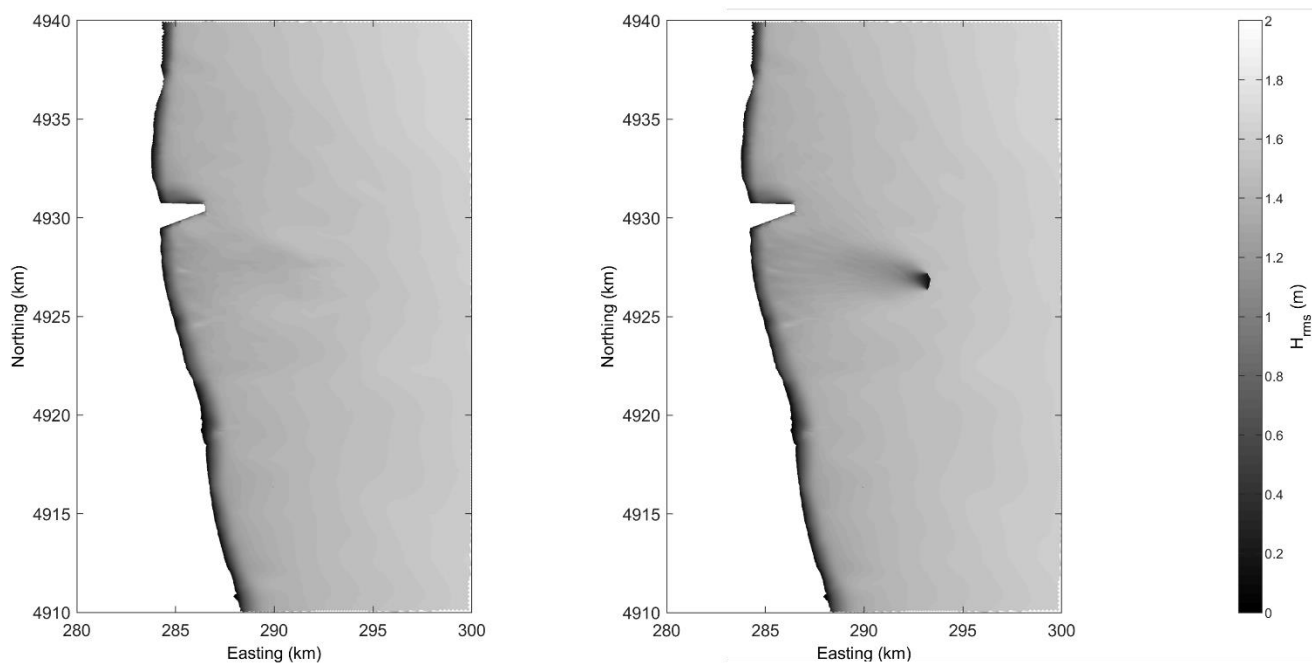


Figura 7-13 Campi di H_{rms} per lo stato attuale (sinistra) e di progetto (destra) per lo scenario SII-2

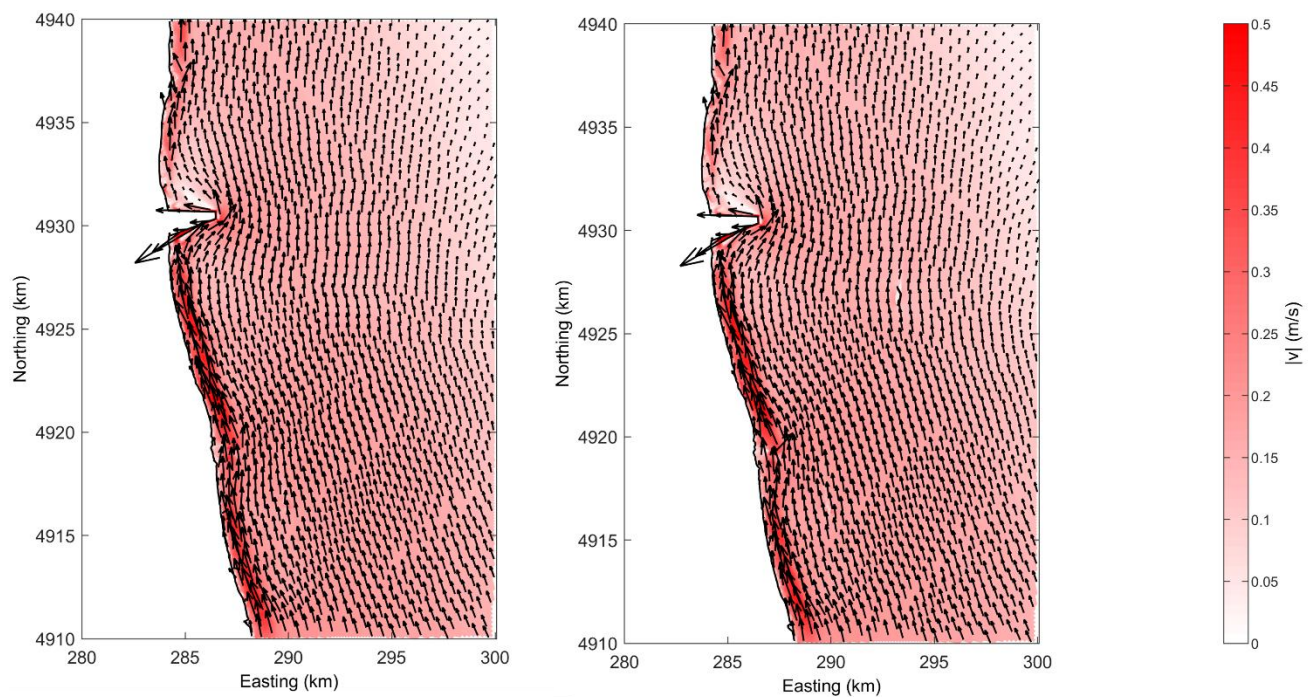


Figura 7-14 Campi di velocità della corrente per lo stato attuale (sinistra) e di progetto (destra) per lo scenario SII-2.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITA' RAVENNA (RA)	000-ZA-E-17076	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 32 di 44	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-002

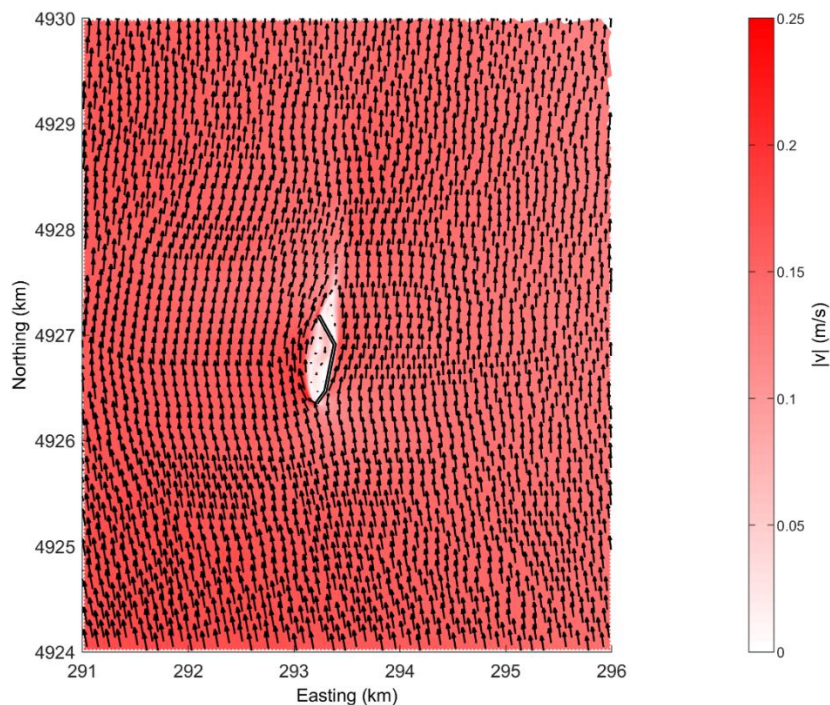


Figura 7-15 Campi di velocità della corrente per lo stato di progetto per lo scenario SII-2 nella zona prospiciente la diga.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITA' RAVENNA (RA)	000-ZA-E-17076	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 33 di 44	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-002

7.3 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 6-2, 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 (PR) al fine di effettuare una comparazione tra gli stessi valori.

I risultati per i cinque scenari di moto ondoso e vento analizzati sono riportati nella Tabella 7-1 per gli stati di mare provenienti da Grecale e nella Tabella 7-2 per gli stati di mare provenienti da Scirocco.

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

Tabella 7-1 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 (PR)

Dir = 45°N Hs = 3.5 m				Dir = 45°N Hs = 2.5 m				Dir = 45°N Hs = 1.5 m			
H_{rms} (m)		$ V $ (m/s)		H_{rms} (m)		$ V $ (m/s)		H_{rms} (m)		$ V $ (m/s)	
AT	PR	AT	PR	AT	PR	AT	PR	AT	PR	AT	PR
2.44	2.44	0.48	0.48	1.83	1.86	0.28	0.28	1.09	1.09	0.15	0.15
2.59	2.59	0.27	0.27	1.89	1.93	0.17	0.17	1.13	1.13	0.10	0.10
2.71	2.72	0.38	0.38	1.97	2.0	0.22	0.23	1.15	1.15	0.11	0.11
2.37	2.38	0.63	0.61	1.7	1.73	0.14	0.14	0.99	0.98	0.09	0.09
2.65	2.66	0.21	0.22	1.94	1.95	0.13	0.13	1.14	1.13	0.08	0.08
2.57	2.51	0.24	0.25	1.9	1.86	0.15	0.15	1.13	1.10	0.10	0.10
2.53	2.46	0.26	0.26	1.87	1.83	0.16	0.17	1.12	1.09	0.10	0.10
2.45	2.44	0.34	0.33	1.87	1.86	0.21	0.21	1.12	1.09	0.12	0.12
2.33	2.32	0.38	0.36	1.84	1.83	0.22	0.2	1.1	1.07	0.12	0.11
2.38	2.38	0.31	0.31	1.85	1.88	0.18	0.17	1.1	1.1	0.10	0.10

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITA' RAVENNA (RA)	000-ZA-E-17076	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 34 di 44	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-002

Tabella 7-2 Scirocco: tabella dei valori di Hrms e |v| lungo la sezione definita precedentemente per gli scenari del Settore II e stato attuale (AT) e di progetto (PR)

Dir = 120°N Hs = 2.5 m				Dir = 120°N Hs = 1.5 m			
H _{rms} (m)		V (m/s)		H _{rms} (m)		V (m/s)	
AT	PR	AT	PR	AT	PR	AT	PR
1.90	1.90	0.15	0.15	1.12	1.14	0.10	0.09
1.92	1.91	0.10	0.09	1.12	1.14	0.07	0.06
1.82	1.80	0.12	0.10	1.06	1.07	0.07	0.06
1.93	1.89	0.20	0.20	1.15	1.15	0.12	0.14
1.83	1.8	0.13	0.14	1.11	1.12	0.09	0.09
1.86	1.81	0.15	0.16	1.11	1.12	0.11	0.10
1.88	1.89	0.16	0.16	1.11	1.12	0.12	0.12
1.91	1.92	0.18	0.18	1.11	1.12	0.13	0.13
1.89	1.91	0.23	0.23	1.10	1.11	0.14	0.14
1.91	1.92	0.21	0.21	1.10	1.12	0.13	0.13

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITA' RAVENNA (RA)	000-ZA-E-17076	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 35 di 44	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-002

8 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 trasporti 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 (Alternativa A.2.1).

Per ogni scenario, vengono presentati:

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

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITA' RAVENNA (RA)	000-ZA-E-17076	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 36 di 44	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-002

8.1.1 Simulazioni SI-1

In questo scenario si sono utilizzati i seguenti parametri:

- moto ondoso incidente da largo: $H_s = 1,5$ m; $T_p = 5.14$ s; Dir= 45° N;
- vento: 8,47 m/s Dir= 45° N.

Nella Figura 7-3 sono riportati i risultati relativi al trasporto solido nell'intorno della nuova diga foranea dal quale si evince che le condizioni idrodinamiche ed ondametrichhe non sono in grado di dar luogo ad un trasporto solido apprezzabile per cui anche le variazioni di fondale sono trascurabili.

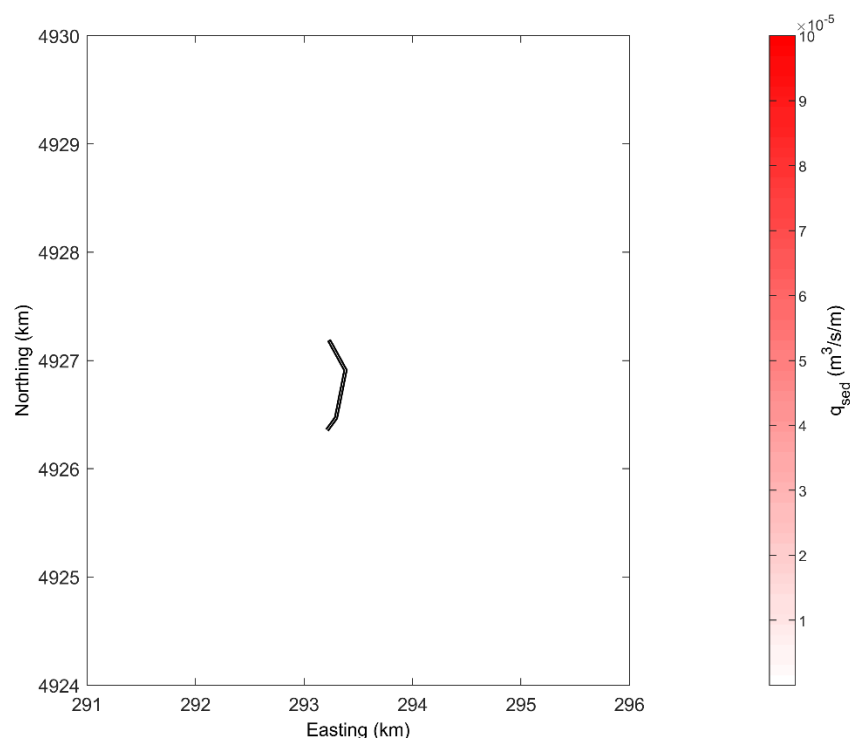


Figura 8-1 Portata del trasporto solido per lo scenario SI-1

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITA' RAVENNA (RA)	000-ZA-E-17076	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 37 di 44	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-002

8.1.2 Simulazioni SI-2

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 7-6 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 trascurabile come mostrato in Figura 8-3. Comunque, con riferimento alla Figura 8-3 dove si riporta la variazione cumulata del fondale, si evidenzia che a Nord-Ovest della diga foranea appare una zona di forma assimilabile a rettilinea dove il codice fornisce una modesta sedimentazione di materiale. Una analisi attenta della batimetria ha mostrato che in questa zona è localizzato un piccolo gradino sul fondale che induce sedimentazione. Si ritiene che probabilmente questo gradino sia dovuto all'accoppiamento di batimetrie provenienti da sorgenti diverse. Comunque, nonostante questa modesta approssimazione, risulta chiaro che il campo di trasporto solido, con queste condizioni di moto ondoso e vento, risulta complessivamente modesto.

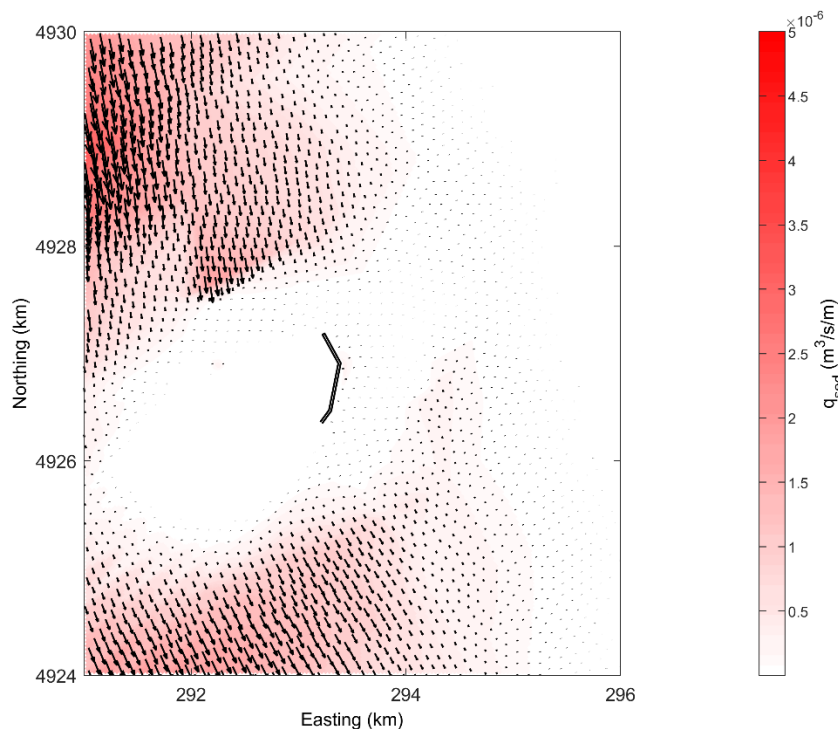


Figura 8-2 Portata del trasporto solido per lo scenario SI-2

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITA' RAVENNA (RA)	000-ZA-E-17076	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 38 di 44	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-002

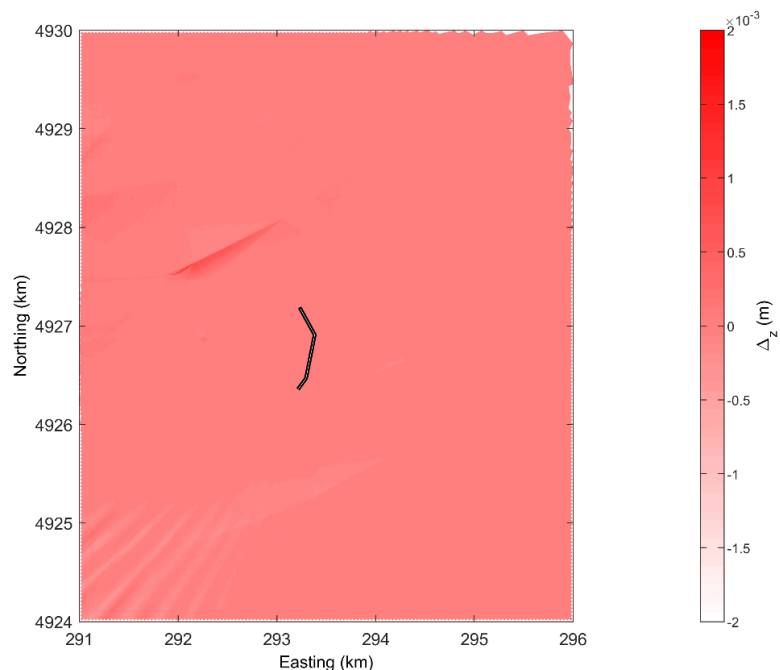


Figura 8-3 Variazione cumulata del fondale nelle 12h di mareggiata simulate per lo scenario SI-2

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITA' RAVENNA (RA)	000-ZA-E-17076	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 39 di 44	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-002

8.1.3 Simulazioni SI-3

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 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-2 ma con entità inferiori.

Nella Figura 8-5 sono riportati i risultati relativi ai cambiamenti morfologici del fondo cumulati dove si possono vedere valori massimi di deposizione nella testata nord dell'opera con valori all'incirca di +0.02 m ed erosione in prossimità della testata SUD con valori massimi di all'incirca -0.04 m.

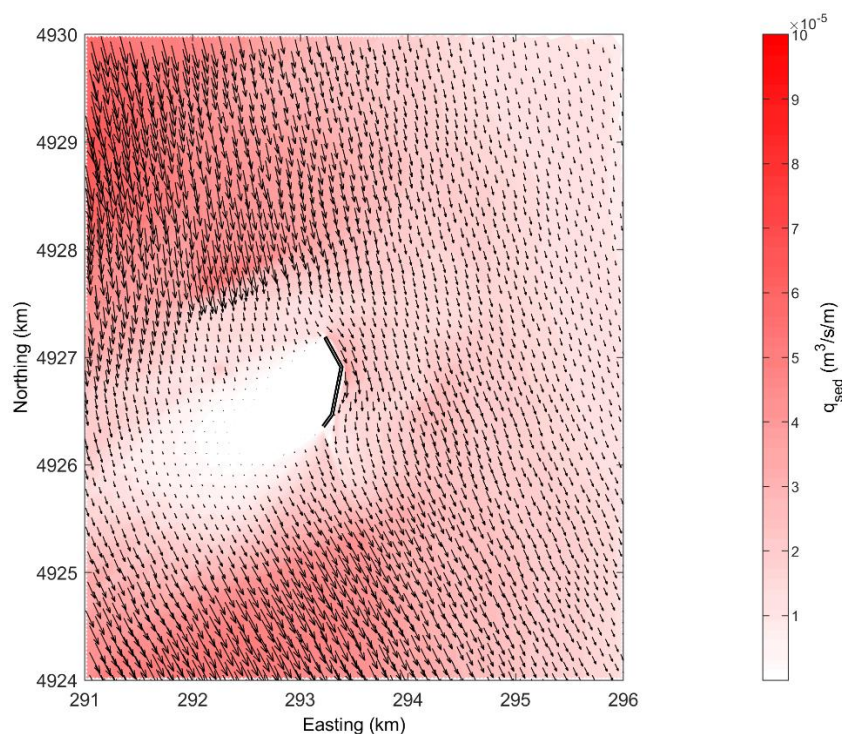


Figura 8-4 Portata del trasporto solido per lo scenario SI-3

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITA' RAVENNA (RA)	000-ZA-E-17076	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 40 di 44	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-002

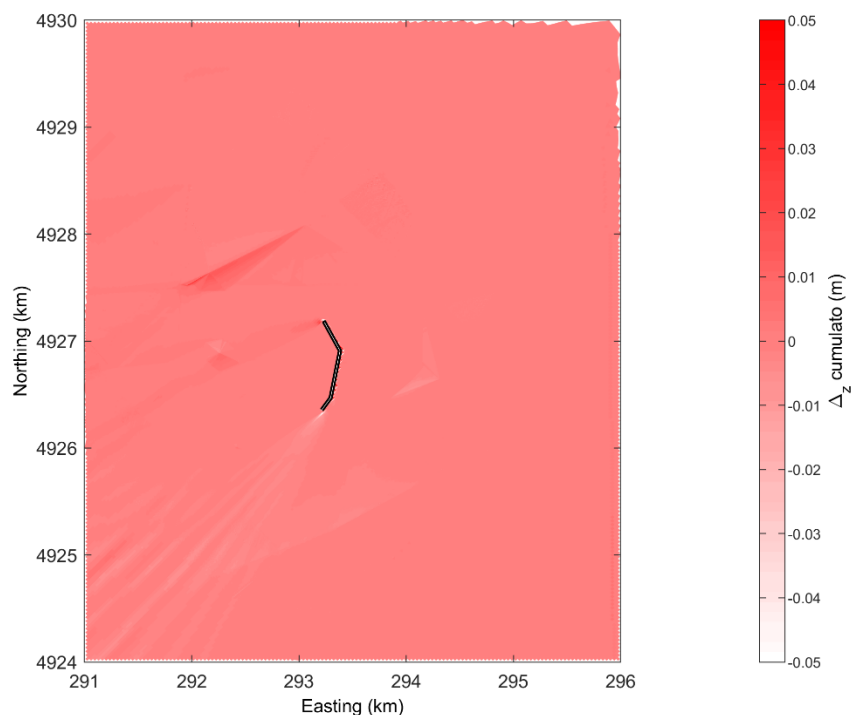


Figura 8-5 Variazione cumulata del fondale nelle 12h di mareggiata simulate per lo scenario SI-3

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITA' RAVENNA (RA)	000-ZA-E-17076	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 41 di 44	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-002

8.1.4 Simulazioni SII-1

In questo scenario si sono utilizzati i seguenti parametri:

- moto ondoso incidente da largo: $H_s = 1,5$ m; $T_p = 5.9$ s; $Dir = 120^\circ$ N;
- vento: 8,1 m/s; $Dir = 120^\circ$ N.

Nella Figura 8-6 sono riportati i risultati relativi al trasporto solido nell'intorno della nuova diga foranea dalla quale si evince che, anche in questo caso, le condizioni idrodinamiche ed ondametrichi non sono in grado di dar luogo ad un trasporto solido apprezzabile per cui anche le variazioni di fondale sono trascurabili.

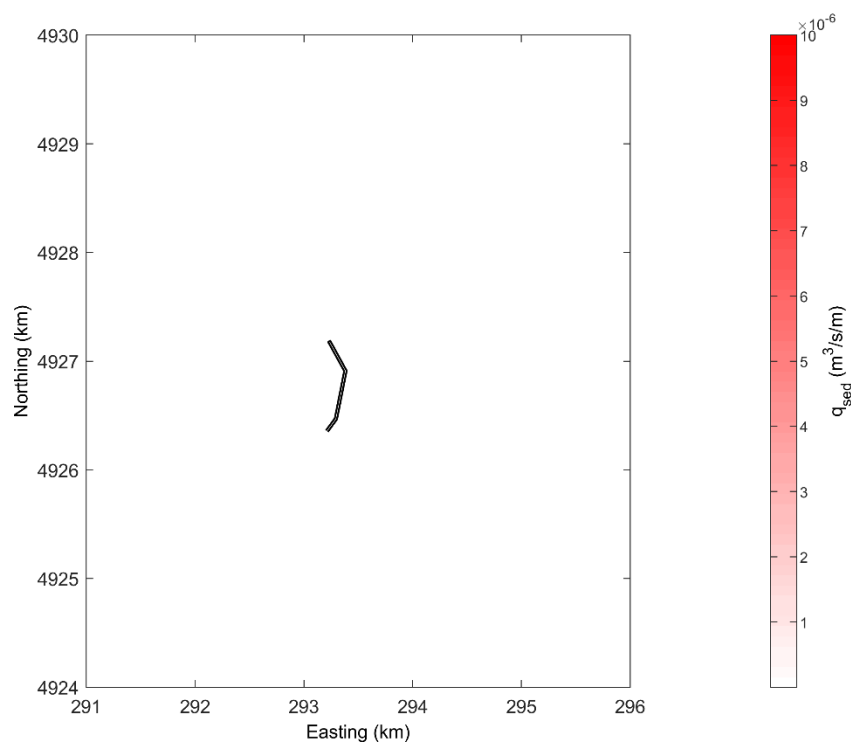


Figura 8-6 Portata del trasporto solido per lo scenario SII-1

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITA' RAVENNA (RA)	000-ZA-E-17076	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 42 di 44	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-002

8.1.5 Simulazioni SII-2

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 portata di trasporto solido.

Nella Figura 8-8 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.

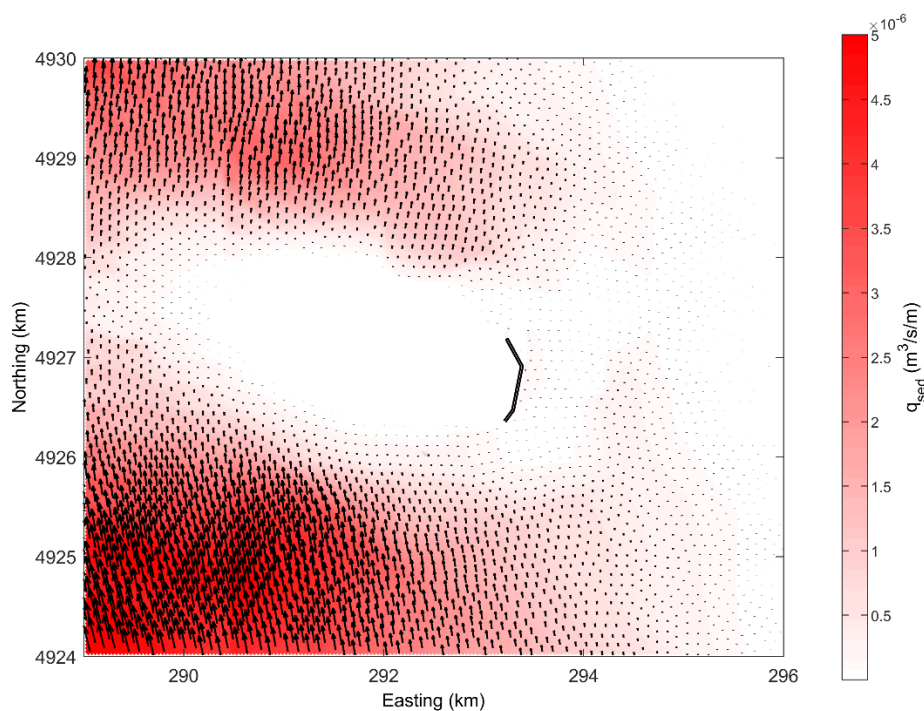


Figura 8-7 Portata del trasporto solido per lo scenario SII-2

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITA' RAVENNA (RA)	000-ZA-E-17076	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 43 di 44	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-002

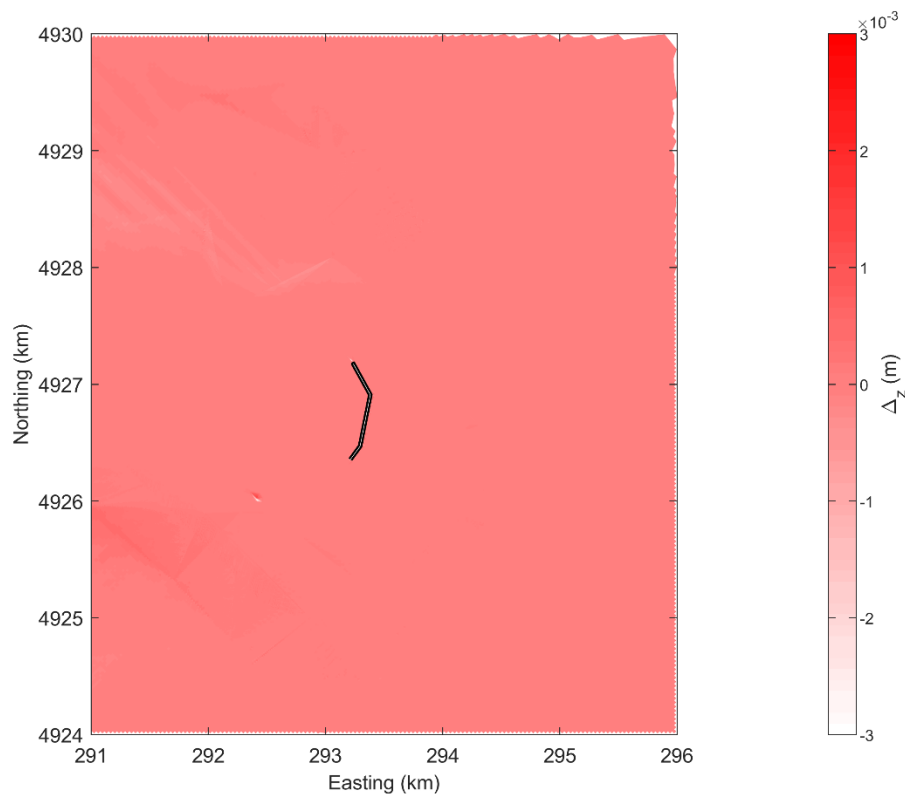


Figura 8-8 Variazione cumulata del fondale nelle 12h di mareggiata simulate per lo scenario SII-2

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITA' RAVENNA (RA)	000-ZA-E-17076	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 44 di 44	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3301-002

9 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, dà luogo, con una durata dello stato di mare di 12h, a minime variazioni di fondale nell'ordine di pochi centimetri. Tenendo conto che la frequenza di superamento media annuale dell' $H_s = 3,0$ m è pari a solo 0,138 %, (vedi Tabella 5-1), 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 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 in una fase più avanzata della progettazione si debbano prendere in esame anche queste situazioni, le quali, seppur rare, potrebbero dar luogo alla necessità di effettuare interventi di manutenzione dei fondali.

Si raccomanda comunque di dotare i cassoni 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 consentirà 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".