

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITÀ RAVENNA (RA)	000-ZX-E-17333	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Pag. 1 di 16	Rev. 0

Rif. T.EN: 201064C-055-RT-3303-733

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 INTEGRATIVO

ADDENDUM allo Studio delle onde di maremoto
(rif. doc. n. 000-ZX-E-17213)

CUP ASSEGNATO AL PROGETTO → E63F22000090007

0	Emissione	P.De Girolamo	L.Nardi	P. Russo	20/12/2024
Rev.	Descrizione	Elaborato	Verificato	Approvato Autorizzato	Data

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITÀ RAVENNA (RA)	000-ZX-E-17333	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Pag. 2 di 16	Rev. 0

Rif. T.EN: 201064C-055-RT-3303-733

INDICE

1	INTRODUZIONE	3
2	PROPAGAZIONE DELLO SCENARIO 5 DALLA -50 m FINO IN PROSSIMITA' DELLA DIGA	4
2.1	Risultati della propagazione dalla – 50 m al contorno posto in prossimità della diga	6
3	RISULTATI SIMULAZIONI DI PROPAGAZIONE ED INONDAZIONE DELLO SCENARIO DI MAREMOTO 5	8
3.1	Descrizione metodologia e modello di calcolo SWASH	8
3.2	Risultati propagazione ed inondazione da onde di maremoto per lo scenario 5	10
4	SINTESI DEI RISULTATI E CONCLUSIONI	16

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITÀ RAVENNA (RA)	000-ZX-E-17333	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Pag. 3 di 16	Rev. 0

Rif. T.EN: 201064C-055-RT-3303-733

1 INTRODUZIONE

Il lavoro descritto nella presente relazione riguarda l'analisi dell'impatto delle onde di maremoto sul nuovo terminale GNL della SNAM che verrà realizzato a largo del porto di Ravenna per l'importazione di gas naturale liquefatto.

In particolare le analisi descritte nel presente lavoro costituiscono una integrazione allo studio emesso in precedenza (Rif. Studio Specialistico di Idraulica Marittima, Studio delle Onde di Maremoto (000-XZ-E-17213 – Dicembre 2023)).

I contenuti della presente integrazione sono stati concordati nell'ambito della riunione tecnica che si è tenuta "online" il 14 marzo 2024 tra SNAM, ISPRA, la Regione Emilia Romagna ed i Progettisti del nuovo terminale nell'ambito della quale si è analizzata la nota ISPRA acquisita dal Commissario con protocollo Pcm/Dica Prot. 1856 del 22/01/2024 ed in particolare le osservazioni poste da ISPRA sul tema SISMICITA' (Rif. Studio Specialistico di Idraulica Marittima, Studio delle Onde di Maremoto (000-XZ-E-17213 – Dicembre 2023)).

A conclusione della riunione si è concordato di esaminare uno scenario di maremoto aggiuntivo (denominato nel seguito Scenario 5) riproducente un maremoto caratterizzato da una N-WAVE con periodo di 1000 s utilizzando il codice numerico SWASH nella sua versione 3D a partire dalla batimetrica -50 m localizzata a circa 80 km dalla zona di interesse.

In modo simile alle analisi condotte in precedenza, lo studio ha riguardato l'interazione tra l'onda, la struttura di protezione e la nave, ed ha implicato il calcolo dei campi di velocità tridimensionali e l'agitazione ondosa nella zona d'interesse.

Tabella 1 Caratteristiche dello scenario 5 di maremoto caratterizzato dalla $MIH_d = 0.46$ m assunti a largo dell'ormeggio della FSRU in corrispondenza della profondità -50,0 m sul l.m.m.

Scenario	T	Teoria	H (m)	MIH_d (m)
5	1000 s (N-wave isoscele cresta)	Tadepalli e Synolakis (1996)	0.92	0.46

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITÀ RAVENNA (RA)	000-ZX-E-17333	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Pag. 4 di 16	Rev. 0

Rif. T.EN: 201064C-055-RT-3303-733

2 PROPAGAZIONE DELLO SCENARIO 5 DALLA -50 m FINO IN PROSSIMITA' DELLA DIGA

Per la propagazione dello scenario di maremoto a partire dalla profondità -50m fino in a raggiungere la zona posta in prossimità della diga, è stato utilizzato il modello numerico SWASH in modalità 3D (x,y,z) tenendo conto di 2 strati (layers) nella direzione verticale z.

Poiché il modello è in grado di simulare fenomeni di inondazione costiera, utilizzando una formulazione “wet and dry”, risulta necessario descrivere il dominio di calcolo tenendo conto sia della batimetria che della topografia emersa.

Per quanto riguarda la batimetria, questa è stata definita sulla base dei dati batimetrici Emodnet 2020 e dei rilievi batimetrici di dettaglio effettuati per la redazione del presente progetto.

La griglia utilizzata, mostrata in Figura 1, copre un'estensione di circa 70 km x 43 km con una maglia di risoluzione 50 m ed un angolo di rotazione di 55° rispetto al N geografico con coordinate dell'angolo in basso a destra della griglia pari a $x = 293613.65$ m e $y = 4924085.20$ m utilizzando il sistema di riferimento WGS84/ UTM 33N.

La risoluzione spaziale utilizzata risulta consistente con quella assunta nel precedente rapporto per le simulazioni eseguite lungo i transetti 2DV.

Le onde di maremoto sono state generate lungo il lato a SE della griglia di calcolo, mentre è stata posta la condizione di assorbimento totale lungo i rimanenti 3 lati in modo tale di essere certi che i risultati in costa tengano conto solamente dell'onda di maremoto incidente. La batimetria è stata modificata a largo introducendo nella zona di generazione un fondale costante.

Con riferimento alla Figura 1, sono state posizionate diverse sonde numeriche, in particolare:

- la sonda A utilizzata per il controllo del segnale in ingresso;
- la sonda B per controllare la propagazione a metà del dominio di calcolo;
- le sonde C1, C2 e C3 poste negli angoli e al centro del lato offshore della griglia di dettaglio utilizzata nei pressi della diga.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITÀ RAVENNA (RA)	000-ZX-E-17333	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Pag. 5 di 16	Rev. 0

Rif. T.EN: 201064C-055-RT-3303-733

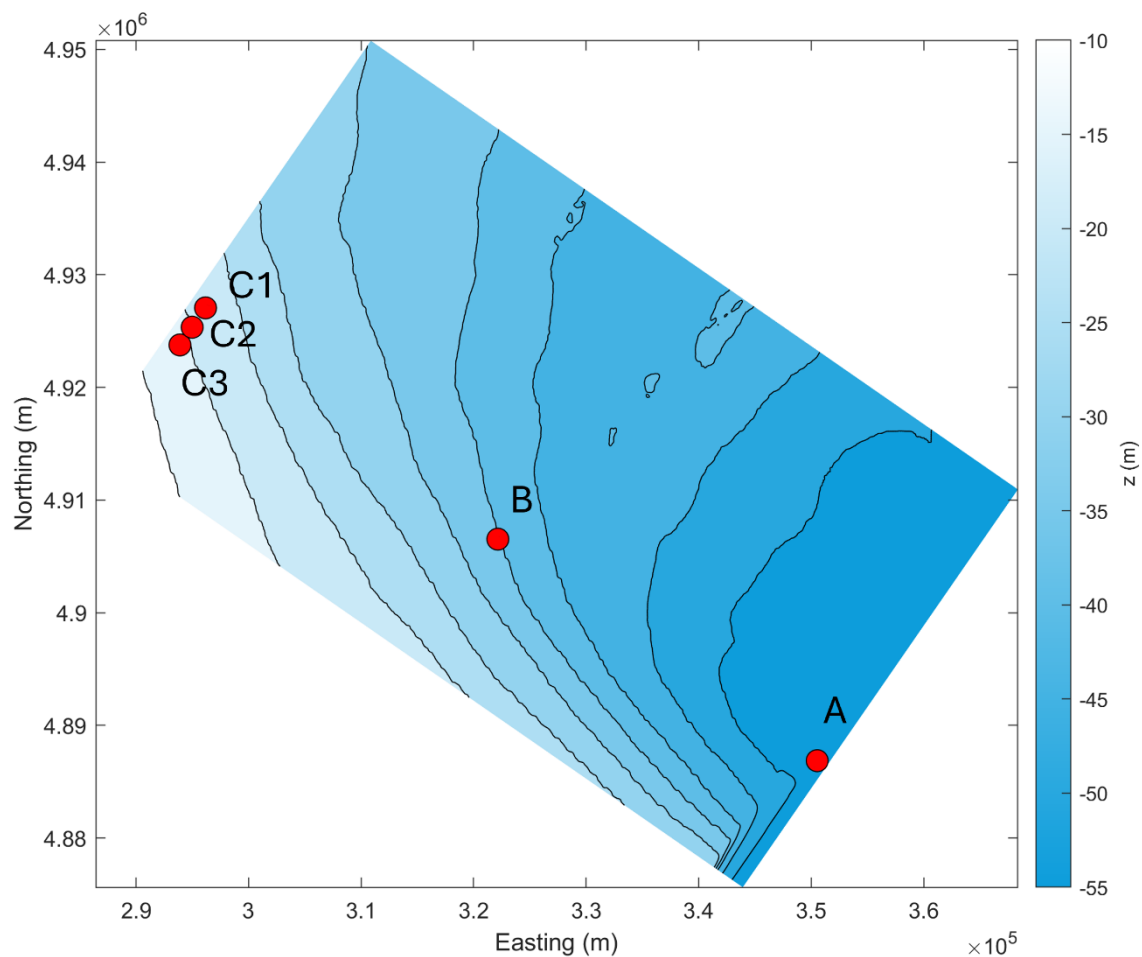


Figura 1 Griglia di calcolo per le simulazioni di propagazione dalla -50 fino in prossimità della diga per considerare sia fenomeni di shoaling che di rifrazione.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITÀ RAVENNA (RA)	000-ZX-E-17333	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Pag. 6 di 16	Rev. 0

Rif. T.EN: 201064C-055-RT-3303-733

2.1 Risultati della propagazione dalla – 50 m al contorno posto in prossimità della diga

I risultati della simulazione eseguita per propagare lo scenario di maremoto dalla batimetrica – 50 m fino a raggiungere la zona posta in prossimità della diga sono mostrati in Figura 2, dove sono riportati due diversi istanti (fermo immagine) della simulazione (dopo 15min ed 1h dall'inizio della simulazione).

Si può vedere come l'effetto della rifrazione causato dalla conformazione batimetrica tende a ruotare il fronte dell'onda e a ridurne l'altezza.

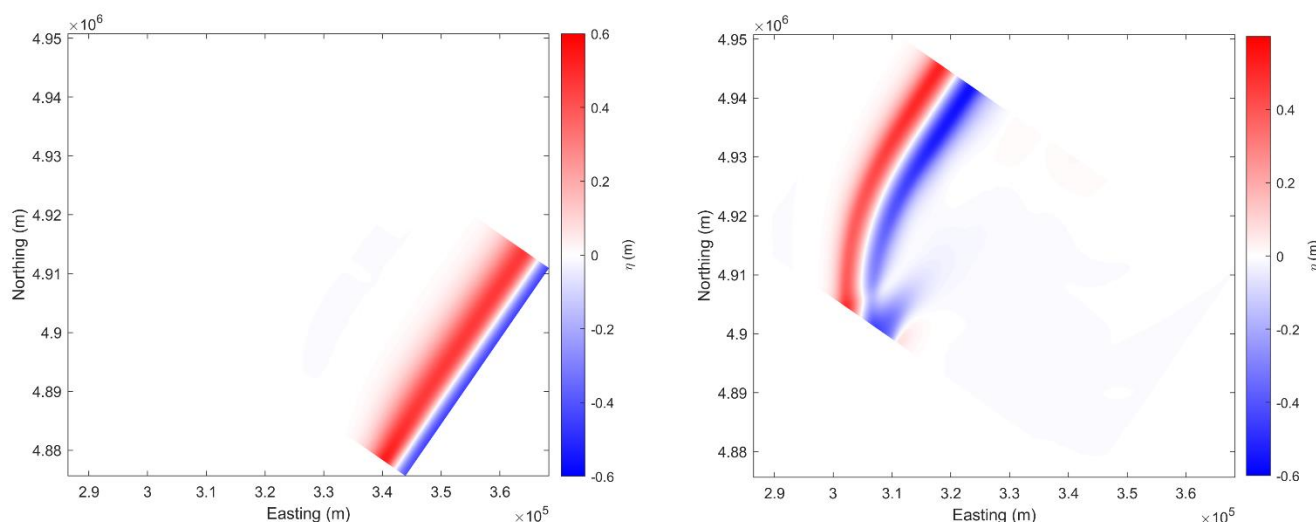


Figura 2 Propagazione 3D dalla -50 fino in prossimità della diga dopo 15 min (pannello a sinistra) e 1h (pannello a destra).

Nella Figura 2 sono riportati i risultati della simulazione in termini di andamento della superficie libera rispettivamente nei punti A, B, C1, C2 e C3 dove, come detto, si sono poste delle sonde numeriche.

L'analisi dei segnali mostra chiaramente che spostandosi dal punto A (generazione) al punto B (posto circa a metà del dominio numerico) e poi ai punti C1, C2 e C3 (posti in prossimità della sezione terminale del dominio di calcolo), si ottiene una progressiva riduzione dell'altezza (distanza cresta-cavo) del segnale di livello a causa della rifrazione. Sostanzialmente quindi tra lo "shoaling", che tende ad aumentare l'altezza dell'onda, e la rifrazione, che causa la rotazione dei fronti dell'onda riducendone l'altezza, prevale la rifrazione.

Si noti inoltre che la serie temporale del segnale in ingresso (A) risulta perfettamente coincidente con la serie temporale del segnale in ingresso utilizzata in precedenza per il transetto 2D.

In conclusione quindi si può affermare che l'aver assunto nelle simulazioni eseguite in precedenza una batimetria parallela con attacco ortogonale alle linee batimetriche delle onde di maremoto **fornisce una semplificazione del fenomeno di tipo conservativo**, ovvero da luogo in corrispondenza della diga ad altezze d'onda maggiori rispetto a quelle che si ottengono tenendo conto del fondale reale con il modello 3D.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITÀ RAVENNA (RA)	000-ZX-E-17333	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Pag. 7 di 16	Rev. 0

Rif. T.EN: 201064C-055-RT-3303-733

I risultati ottenuti in termini di variazioni temporali della superficie libera nelle vicinanze della diga (sonde C1, C2 e C3) sono stati utilizzati come condizione al contorno offshore per le simulazioni eseguite nell'intorno della diga.

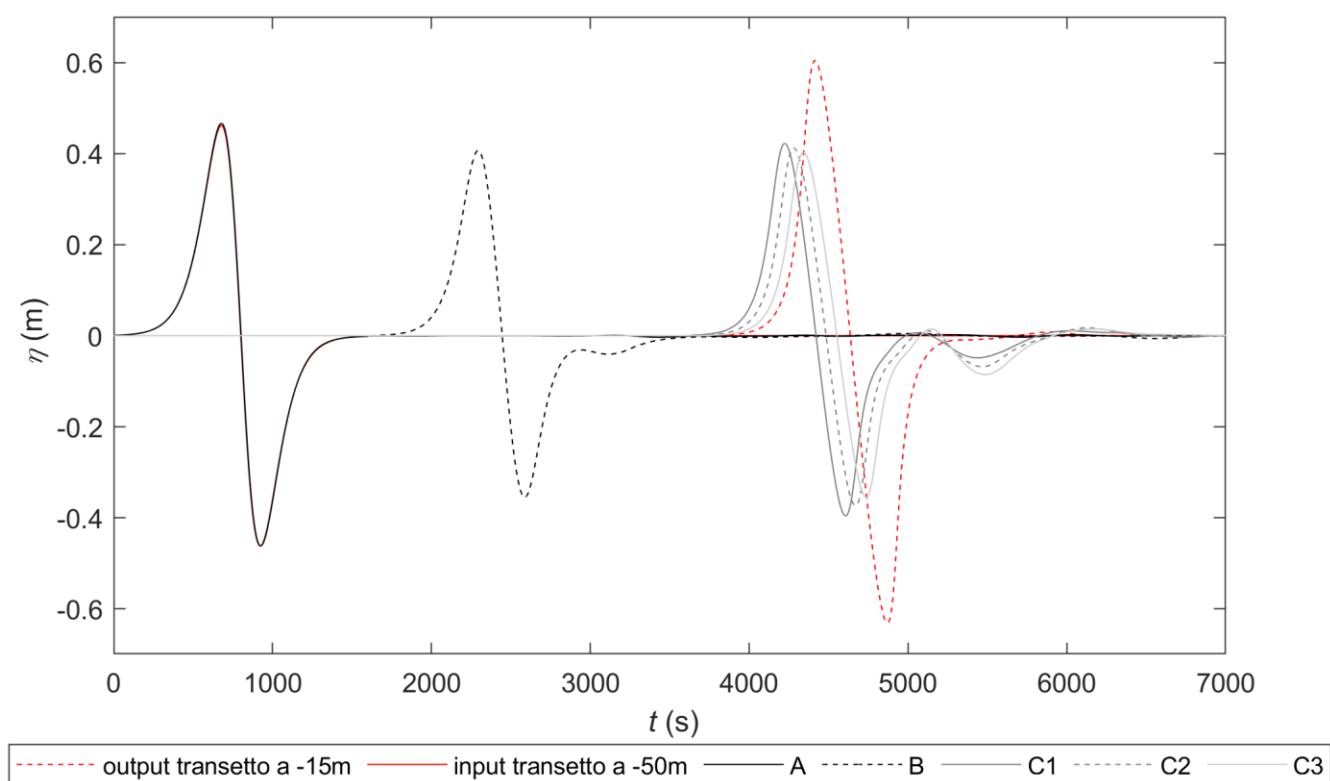


Figura 3 Risultati propagazione 3D e comparazione coi risultati di una simulazione con transetto 2DV.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITÀ RAVENNA (RA)	000-ZX-E-17333	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Pag. 8 di 16	Rev. 0

Rif. T.EN: 201064C-055-RT-3303-733

3 RISULTATI SIMULAZIONI DI PROPAGAZIONE ED INONDAZIONE DELLO SCENARIO DI MAREMOTO 5

3.1 Descrizione metodologia e modello di calcolo SWASH

Come precedentemente accennato, per l'analisi delle onde di maremoto è stato utilizzato il modello numerico SWASH in modalità 3D (x,y,z) tenendo conto di 2 strati (layers) nella direzione verticale z. Poiché il modello è in grado di simulare fenomeni di inondazione costiera, utilizzando una formulazione "wet and dry", risulta necessario descrivere il dominio di calcolo tenendo conto sia della batimetria che della topografia emersa.

Per quanto riguarda la batimetria, questa è stata definita sulla base dei dati batimetrici Emodnet 2020 e dei rilievi batimetrici di dettaglio effettuati per la redazione del presente progetto, inoltre si è utilizzata la planimetria di progetto per il dragaggio del canale di accesso e dell'area di ormeggio della FSRU. Per la descrizione delle opere e in particolare della diga si è utilizzate la planimetria e le sezioni di progetto della diga. Il chart datum è riferito al I.m.m.

La griglia di calcolo è stata implementata in modo tale da avere il confine di largo del dominio di calcolo perpendicolare alla linea che collega il POI 1 alla FSRU considerata come direzione principale di propagazione delle onde di maremoto considerate in questo studio. La condizione al contorno per riprodurre l'onda di maremoto in ingresso al dominio di calcolo è stata definita utilizzando la variazione della superficie libera nel tempo.

Per l'analisi di dettaglio è stata utilizzata la stessa griglia di calcolo utilizzata in precedenza, che copre un'estensione di 4 km x 4 km con una maglia di risoluzione 5 m (in modo tale da riprodurre accuratamente la diga) ed un angolo di rotazione di 55° rispetto al N geografico con coordinate dell'angolo in basso a destra della griglia di x=293613.65 m e y=4924085.2 m utilizzando il sistema di riferimento WGS84/ UTM 33N.

La generazione è stata effettuata lungo il lato SE. Nei rimanenti lati del dominio di calcolo è stata imposta la condizione di assorbimento totale. La diga è stata considerata cautelativamente completamente riflettente nella sua altezza. Uno stralcio della griglia di calcolo in prossimità della zona di ormeggio della FSRU e della diga di protezione è mostrato in Figura 4 dove sono riportate le posizioni delle sonde numeriche in corrispondenza delle quali è stata misurata la variazione della superficie libera ed il modulo della velocità istantanea della corrente omnidirezionale.

Nella simulazione è stato considerato un sovrizzo di marea astronomica congruente con la media delle alte maree sizigiali come definito dallo studio meteomarinò con un valore di 0.35 m.

Nella Figura 4 sono rappresentati i punti dove sono state poste le sonde numeriche utilizzate per estrarre dalle simulazioni i risultati di seguito descritti.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITÀ RAVENNA (RA)	000-ZX-E-17333	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Pag. 9 di 16	Rev. 0

Rif. T.EN: 201064C-055-RT-3303-733

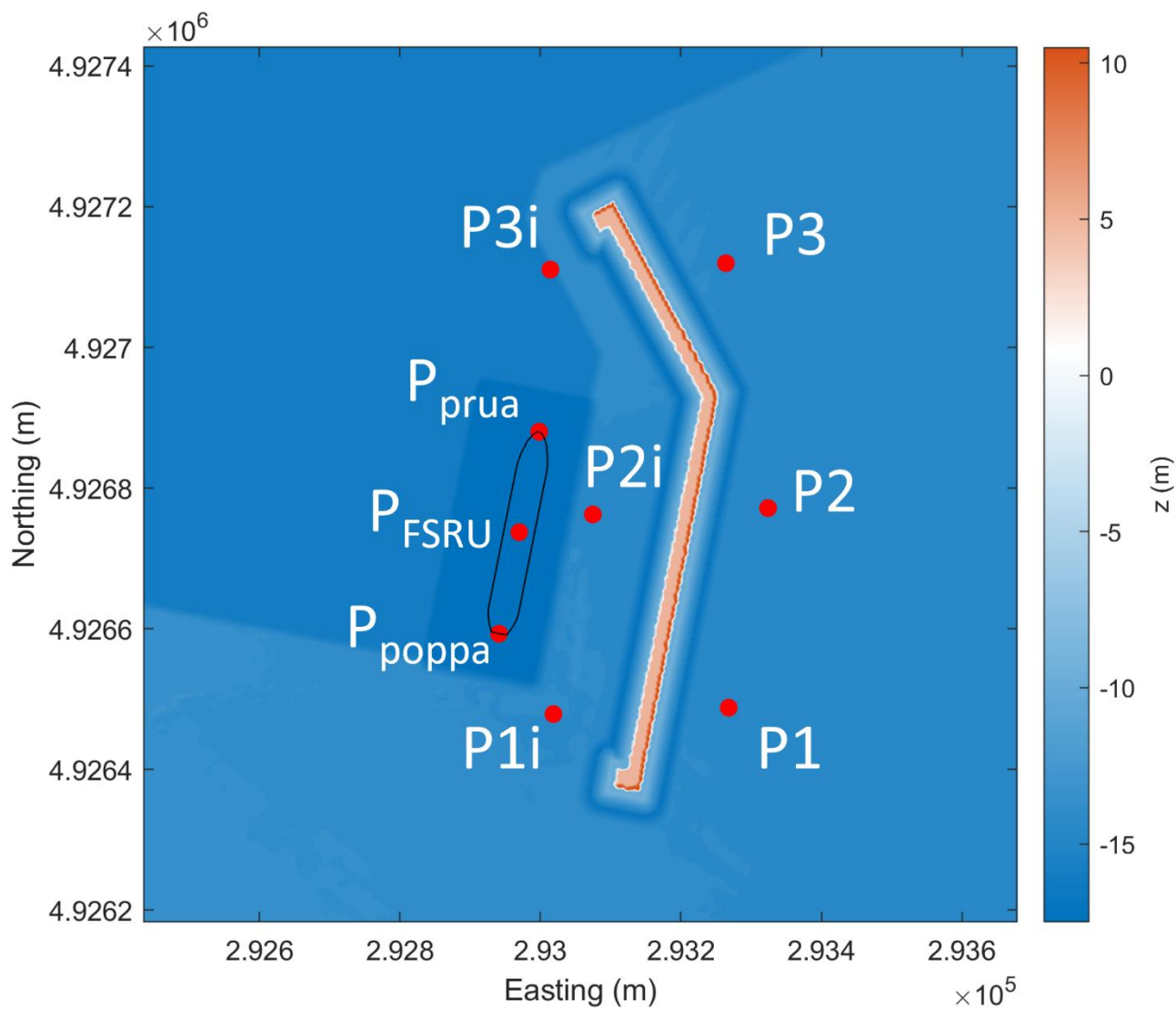


Figura 4 Stralcio della griglia di calcolo nelle vicinanze dell'ormeggio della FSRU e della diga di protezione.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITÀ RAVENNA (RA)	000-ZX-E-17333	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Pag. 10 di 16	Rev. 0

Rif. T.EN: 201064C-055-RT-3303-733

3.2 Risultati propagazione ed inondazione da onde di maremoto per lo scenario 5

Di seguito sono mostrati i risultati della simulazione numerica eseguita per riprodurre lo Scenario di maremoto 5 definito nella Tabella 1.

Congruentemente al precedente studio, si mostra in primo luogo l'andamento della superficie libera sull'intera griglia di calcolo (al netto del sovrizzo di marea astronomica) in due diversi istanti temporali. In particolare nella Figura 5 è rappresentato l'andamento della superficie libera nell'istante $t = 13$ minuti in cui passa per la nave la cresta dell'onda, mentre nella Figura 6 è rappresentata la superficie libera nell'istante $t = 19$ minuti in cui passa il cavo dell'onda. Le due figure mostrano chiaramente che nel caso in questione, caratterizzato da un periodo molto lungo, l'effetto di protezione offerto dalla diga si riduce considerevolmente e quindi l'andamento della superficie libera risulta poco condizionato dall'opera marittima.

Nella Figura 9 sono mostrati per i punti P1, P2 e P3 posti a monte della diga, gli andamenti temporali della superficie libera (pannello di sinistra) e del modulo della risultante delle velocità omnidirezionale ($|v|$) (pannello di destra).

Nella Figura 8 e nella Figura 9 sono mostrati gli spessi risultati rispettivamente per i punti P1i, P2i e P3i e per i punti P_{prua} , P_{FSRU} e P_{poppa} (zona di ormeggio della FSRU).

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITÀ RAVENNA (RA)	000-ZX-E-17333	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Pag. 11 di 16	Rev. 0

Rif. T.EN: 201064C-055-RT-3303-733

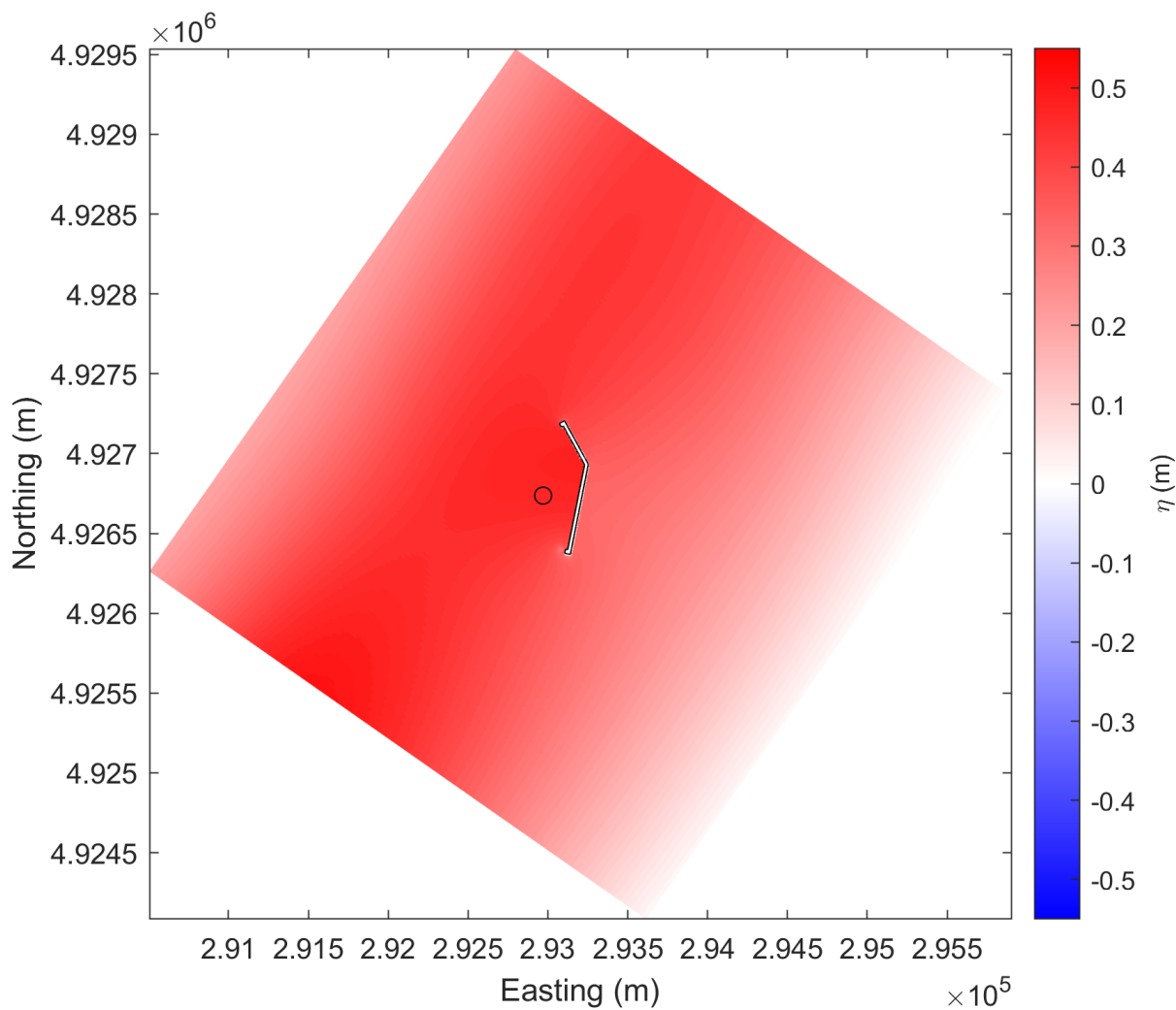


Figura 5 Propagazione dello Scenario 5: andamento della superficie libera per $t = 13$ minuti. Il cerchio indica il punto centrale della FSRU.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITÀ RAVENNA (RA)	000-ZX-E-17333	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Pag. 12 di 16	Rev. 0

Rif. T.EN: 201064C-055-RT-3303-733

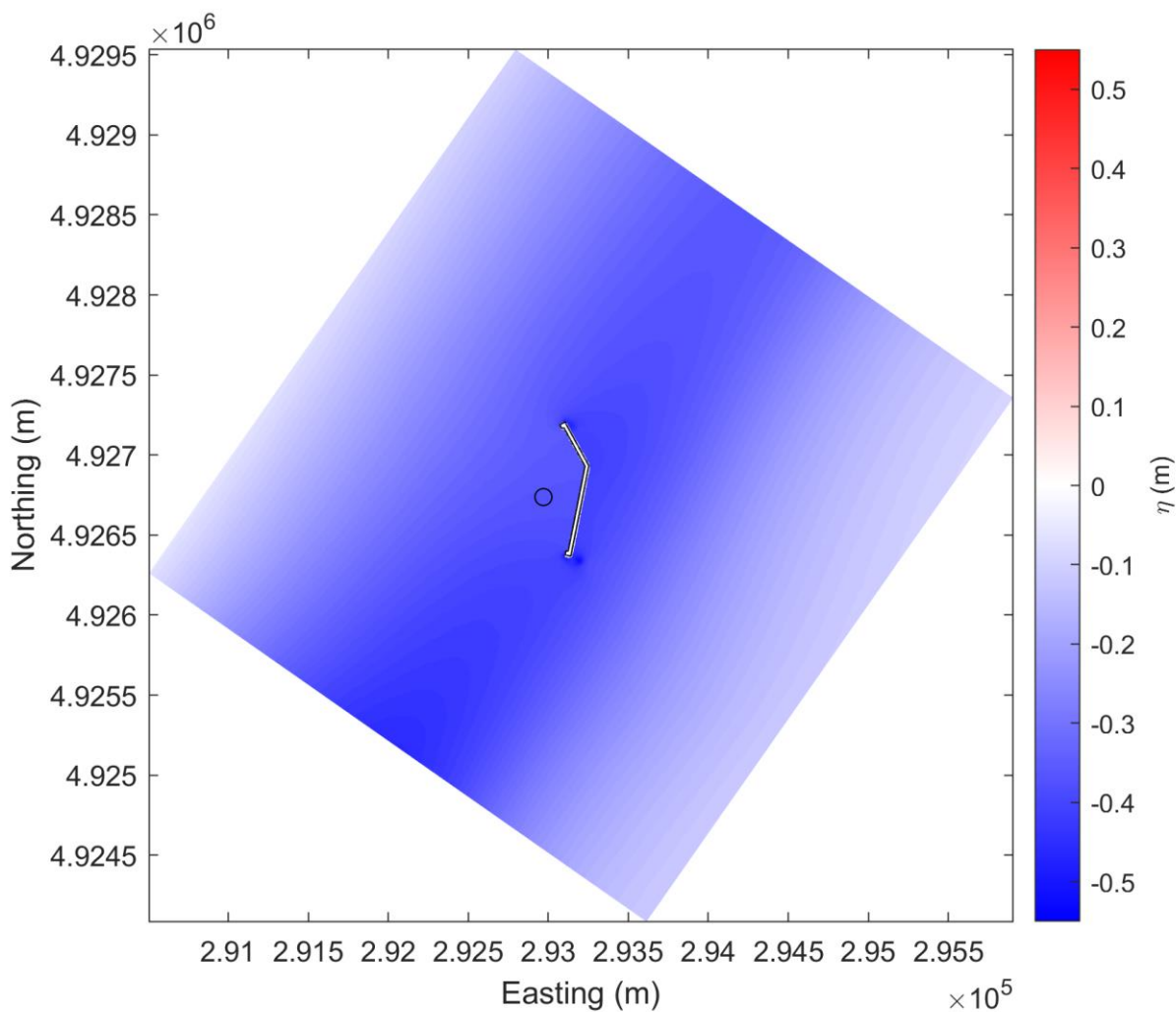


Figura 6 Propagazione dello Scenario 5: andamento della superficie libera per $t = 19$ minuti. Il cerchio indica il punto centrale della FSRU.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITÀ RAVENNA (RA)	000-ZX-E-17333	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Pag. 13 di 16	Rev. 0

Rif. T.EN: 201064C-055-RT-3303-733

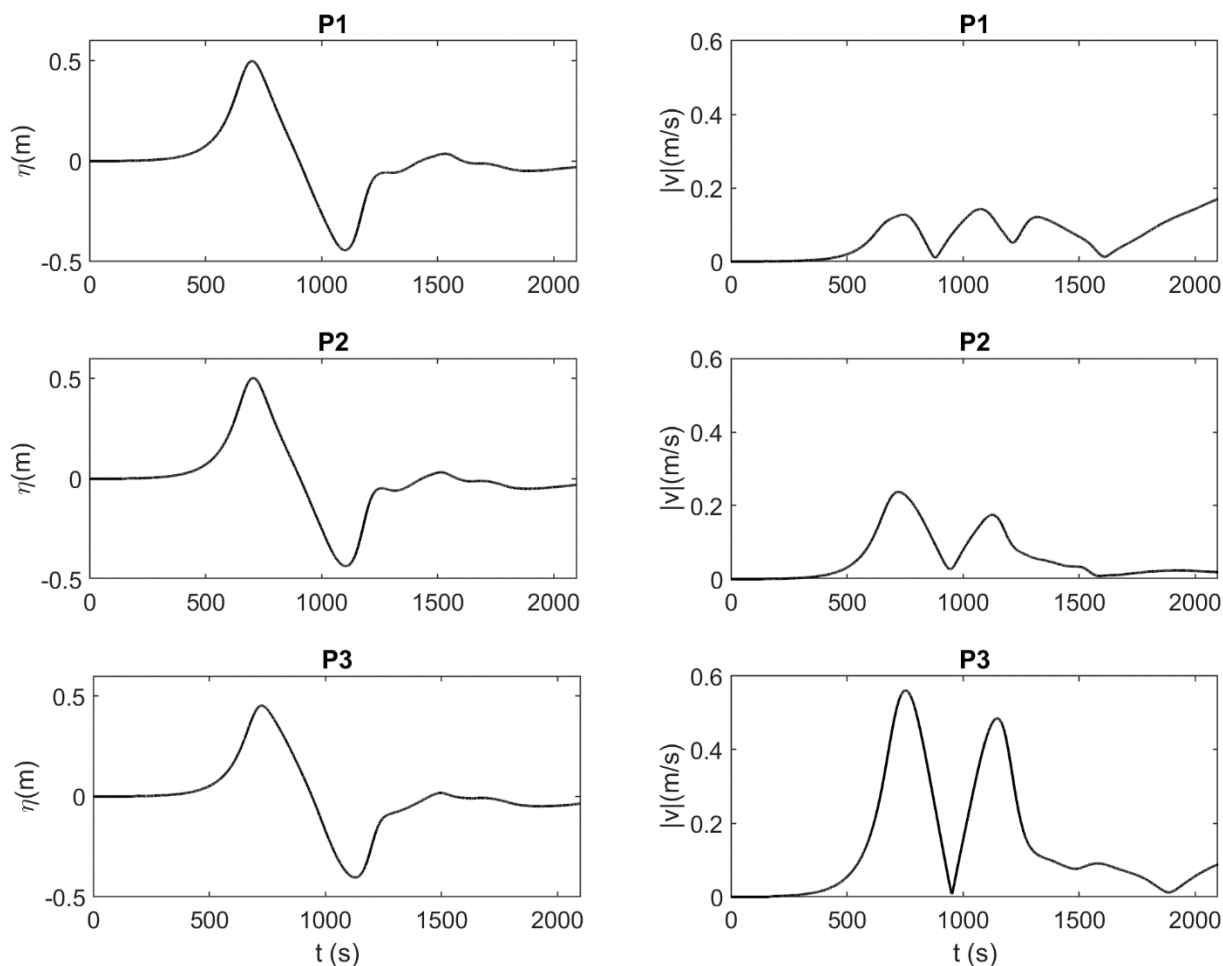


Figura 7 Variazione della superficie libera rispetto al l.m.m al netto del sovralzo di marea astronomica e del modulo della velocità di corrente omnidirezionale nel tempo per lo Scenario 5 nei punti P1, P2, P3.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITÀ RAVENNA (RA)	000-ZX-E-17333	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Pag. 14 di 16	Rev. 0

Rif. T.EN: 201064C-055-RT-3303-733

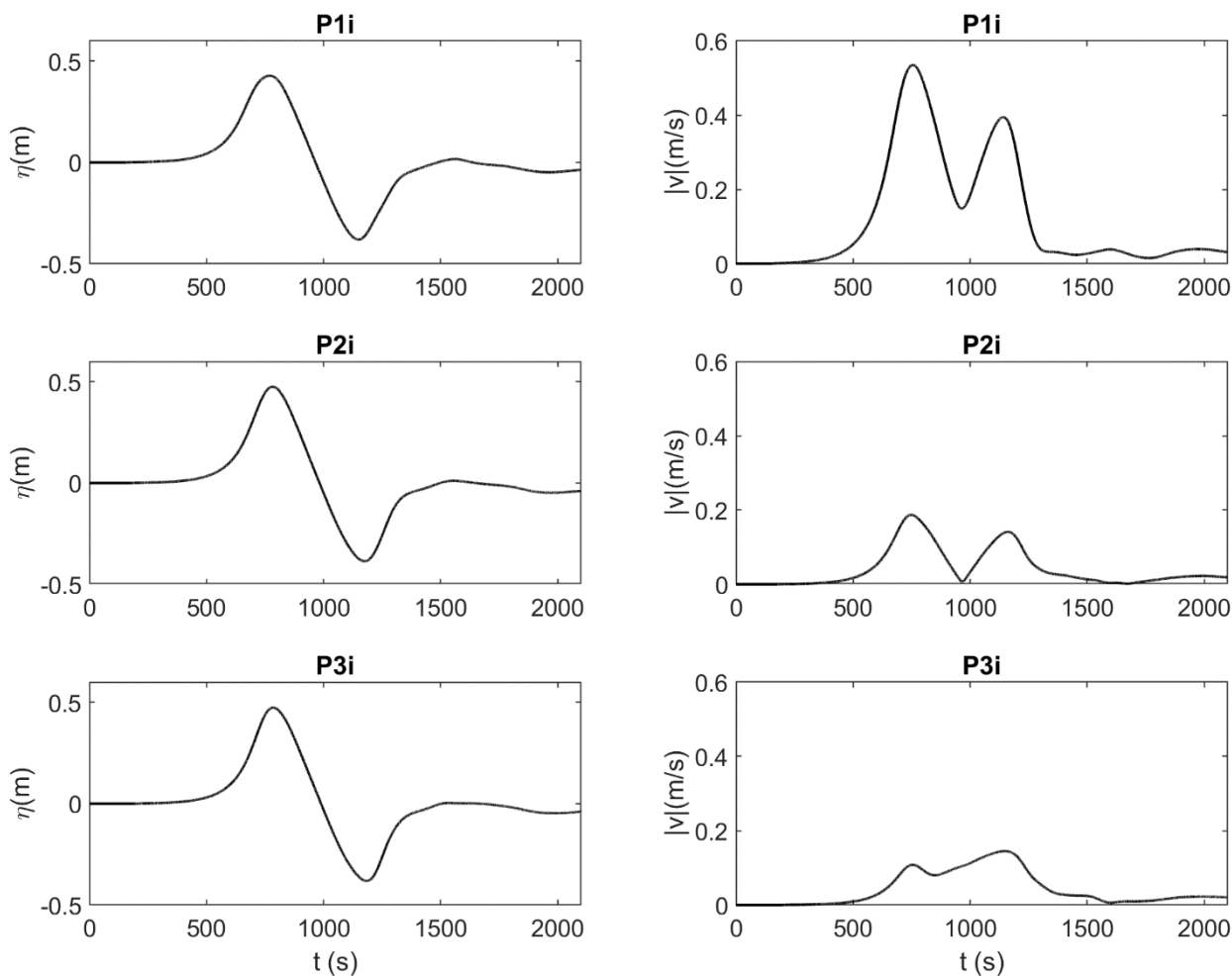


Figura 8 Variazione della superficie libera rispetto al l.m.m al netto del sovralzo di marea astronomica e del modulo della velocità di corrente omnidirezionale nel tempo per lo Scenario 5 nei punti P1i, P2i, P3i.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITÀ RAVENNA (RA)	000-ZX-E-17333	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Pag. 15 di 16	Rev. 0

Rif. T.EN: 201064C-055-RT-3303-733

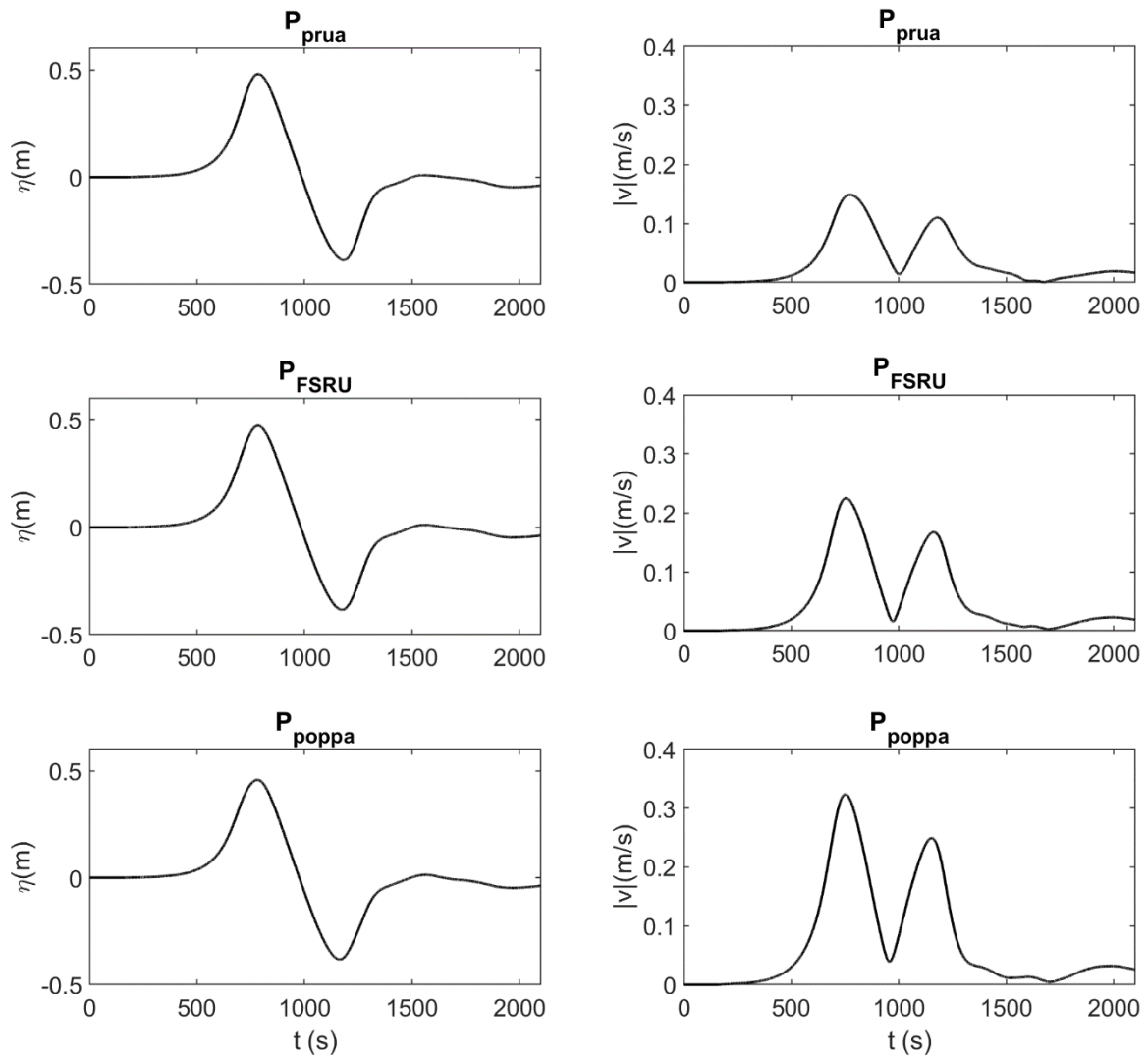


Figura 9 Variazione della superficie libera rispetto al l.m.m al netto del sovrizzo di marea astronomica e del modulo della velocità di corrente omnidirezionale nel tempo per lo Scenario 5 nei punti P_{prua} , P_{FSRU} e P_{poppa} .

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITÀ RAVENNA (RA)	000-ZX-E-17333	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Pag. 16 di 16	Rev. 0

Rif. T.EN: 201064C-055-RT-3303-733

4 SINTESI DEI RISULTATI E CONCLUSIONI

Nella **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** sono riportati in sintesi i risultati estremi ottenuti per lo Scenario 5 in corrispondenza dei 3 punti presi in considerazione per descrivere la zona di ormeggio della FSRU.

Gli stessi risultati sintetici ottenuti a valle delle analisi condotte nel precedente elaborato ("Studio delle Onde di Maremoto (000-XZ-E-17213 – Dicembre 2023)") e relativi agli Scenari 1, 2, 3 e 4 sono richiamati nella Tabella 3.

Il confronto tra la Tabella 2 e la Tabella 3, mostra chiaramente che, come era presumibile, **il nuovo scenario simulato non fornisce risultati peggiori rispetto a quelli già ottenuti con gli scenari simulati in precedenza.**

Tabella 2 - Sintesi dei valori massimi del modulo delle velocità omnidirezionali della corrente e dei valori massimi e minimi della superficie libera ottenuti per lo Scenario 5 in corrispondenza dei punti Pprua, PFSRU e Ppoppa posti in corrispondenza della FSRU.

PUNTI	Vmax (m/s)	η_{max} (m)	η_{min} (m)
P _{prua}	0.15	+0.48	-0.38
P _{FSRU}	0.23	+0.47	-0.38
P _{poppa}	0.32	+0.46	-0.38

Tabella 3 - Sintesi dei valori massimi del modulo delle velocità omnidirezionali della corrente e dei valori massimi e minimi della superficie libera ottenuti per gli Scenari 1, 2, 3 e 4 simulati in corrispondenza dei punti Pprua, PFSRU e Ppoppa posti in corrispondenza della FSRU.

PUNTI	Vmax (m/s)	η_{max} (m)	η_{min} (m)
P _{prua}	0.38	0.60	-0.44
P _{FSRU}	0.40	0.51	-0.40
P _{poppa}	0.48	0.58	-0.39