

Committente 	Progettista 	<b>COMMESSA</b> GC/R2004	<b>UNITA'</b> 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente <b>100-ZA-E-10024</b>	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 1 di 68	<b>Rev.</b> 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-008

## TERMINALE DI PORTOVESME

Analisi delle onde di maremoto



01	Emissione per enti	P. DE GIROLAMO	G. SAGARIA	G.MONTI	15/11/21
00	Emissione per commenti	P. DE GIROLAMO	G. SAGARIA	G.MONTI	22/07/21
<b>Rev.</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Elaborato</b>	<b>Verificato</b>	<b>Approvato Autorizzato</b>	<b>Data</b>

Committente  	Progettista 	<b>COMMESSA</b> GC/R2004	<b>UNITA'</b> 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente <b>100-ZA-E-10024</b>	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 2 di 68	<b>Rev.</b> 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-008

## INDICE

1.	INTRODUZIONE	3
2.	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DI PORTOVESME	4
3.	OBIETTIVI E METODOLOGIA DI LAVORO	5
4.	ANALISI PROBABILISTICA E DEFINIZIONE DELLE ONDE DI MAREMOTO INCIDENTI	8
4.1.	Quantificazione probabilistica della pericolosità dovuta a maremoti indotti da sismi	8
3.2	Definizione della Maximum Inundation Height (MIH)	11
3.3	Definizione delle caratteristiche dei maremoti incidenti di progetto	14
5.	STUDIO NUMERICO DI PROPAGAZIONE TSUNAMI ALL'INTERNO DELL'AREA PORTUALE	16
4.1	Descrizione metodologia e modello di calcolo SWASH	16
4.2	Risultati tsunami proveniente da TSUMAPS-SUD	20
4.2.1	Risultati tsunami SUD-1	21
4.2.2	Risultati tsunami SUD-2	28
4.2.3	Risultati tsunami SUD-3	36
4.3	Risultati tsunami proveniente da TSUMAPS-NORD	45
4.3.1	Risultati tsunami NORD-1	46
4.3.2	Risultati tsunami NORD-2	53
4.3.3	Risultati tsunami NORD-3	59
6.	SINTESI DEI RISULTATI E CONCLUSIONI	67

Committente 	Progettista 	<b>COMMESSA</b> GC/R2004	<b>UNITA'</b> 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente <b>100-ZA-E-10024</b>	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 3 di 68	<b>Rev.</b> 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-008

## 1. INTRODUZIONE E SCOPO DEL LAVORO

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

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

In particolare, il Terminale sarà costituito da una unità navale di stoccaggio e rigassificazione flottante (FSRU, Floating Storage Regasification Unit) con una capacità di stoccaggio di circa 130.000 m<sup>3</sup> di GNL e una capacità di rigassificazione massima di circa 330.000 Sm<sup>3</sup>/h. La FSRU sarà permanentemente ormeggiata lungo la banchina Est del porto di Portovesme (SU).

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

Il presente rapporto descrive lo studio delle onde di maremoto condotto a supporto del progetto che prevede l'installazione nel porto commerciale di Portovesme (frazione di Portoscuso, provincia di Sud Sardegna) di una nave gasiera opportunamente modificata (FSRU) per consentire lo stoccaggio e la vaporizzazione di GN liquido (GNL) proveniente principalmente dal sito SNAM di Panigaglia (SP).

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

Committente 	Progettista 	<b>COMMESSA</b> GC/R2004	<b>UNITA'</b> 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente <b>100-ZA-E-10024</b>	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 4 di 68	<b>Rev.</b> 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-008

## 2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DI PORTOVESME

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

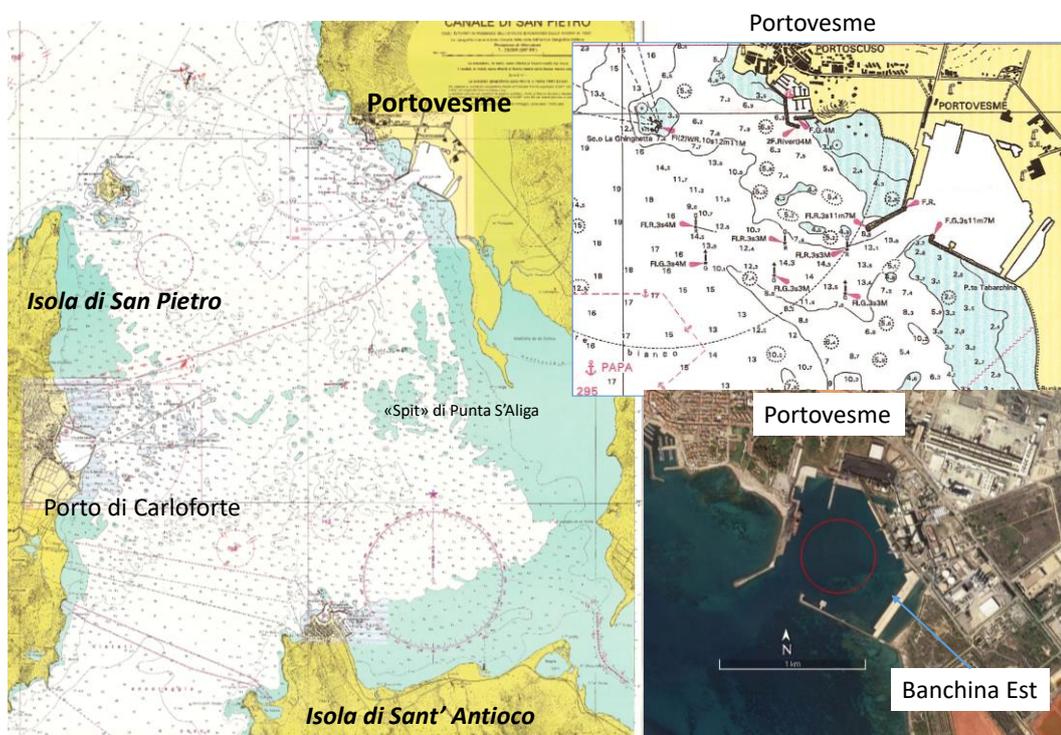


Figura 2-1 - Localizzazione geografica di Portovesme e della banchina Est dove si prevede di ormeggiare la FSRU.

Committente 	Progettista 	<b>COMMESSA</b> GC/R2004	<b>UNITA'</b> 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente <b>100-ZA-E-10024</b>	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 5 di 68	<b>Rev.</b> 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-008

### 3. OBIETTIVI E METODOLOGIA DI LAVORO

L'obiettivo del presente lavoro è quello di valutare gli effetti che una possibile onda di maremoto generata da un sisma sottomarino possa produrre sulle infrastrutture portuali di Portovesme e in particolare sulla nave FSRU che rimarrà ormeggiata alla banchina Est del porto per circa 25 anni.

Allo stato attuale in Italia non esistono norme o leggi di tipo prescrittivo che richiedano in modo esplicito di tenere conto delle onde di maremoto per la progettazione di opere marittime.

Tuttavia recentemente, nel 2017, è stato creato per fini di Protezione Civile il Sistema di Allertamento Nazionale Maremoti (SiAM) (vedi Direttiva PCM pubblicata sulla GU n.128 5/6/2017), nell'ambito del quale è stato sviluppato un metodo di previsione di tipo probabilistico delle onde di maremoto generate da sisma applicabile a tutte le coste italiane. Per lo sviluppo del presente lavoro si è fatto riferimento a tale metodo.

Di seguito si espongono sinteticamente le attività e la struttura del SiAM al fine di introdurre il metodo di previsione probabilistico di cui ci si è serviti per lo sviluppo del presente studio.

Il SiAM esplica le seguenti attività:

- a. analizza in tempo reale i dati di osservazione provenienti dalle stazioni delle reti sismiche nazionali e internazionali, per l'immediata individuazione e caratterizzazione degli eventi sismici con epicentro in mare o nelle immediate vicinanze e che sono potenzialmente in grado di generare maremoti nella zona di competenza del Centro Allerta Tsunami;
- b. valuta la possibilità che in conseguenza ad un terremoto possa avvenire un maremoto e di quale entità;
- c. diffonde la messaggistica d'allerta.

Il SiAM è composto:

- o dall'INGV, che opera attraverso il Centro Allerta Tsunami (CAT) ed elabora i messaggi di allerta;
- o dall'ISPRA, che fornisce i dati registrati dalla Rete Mareografica Nazionale al CAT;
- o dal Dipartimento della protezione civile (DPC), che distribuisce i messaggi di allerta.

Nel 2018 il DPC (GU n.266 1\_11\_2018) ha pubblicato le *"Indicazioni alle Componenti ed alle Strutture operative del Servizio nazionale di protezione civile per l'aggiornamento delle pianificazioni di protezione civile per il rischio maremoto"*, dove sono descritte:

- o le zone di allertamento e le mappe di pericolosità da maremoti indotti da sismi sviluppate dall'ISPRA;
- o la strategia di allertamento;
- o la pianificazione regionale, provinciale e comunale.

Committente 	Progettista 	<b>COMMESSA</b> GC/R2004	<b>UNITA'</b> 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente <b>100-ZA-E-10024</b>	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 6 di 68	<b>Rev.</b> 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-008

Le “Mappe d’inondazione da tsunami indotto da sisma (MIT)” e le relative zone di allertamento elaborate da ISPRA coprono tutte le coste italiane e sono consultabili al seguente link:

<http://sgj2.isprambiente.it/tsunamimap/>.

Le mappe individuano le aree costiere italiane potenzialmente esposte a maremoti generati da terremoti. La loro elaborazione, prevista dalla sopra citata Direttiva SiAM del 17 febbraio 2017 e dalle indicazioni del Capo Dipartimento della Protezione Civile, ha la finalità di supportare gli enti e le amministrazioni nelle attività di pianificazione di protezione civile e di allertamento in ambito SiAM.

Come indicato nel sito, queste mappe, devono essere considerate preliminari perché sono state realizzate applicando una metodologia speditiva anche se accreditata a livello internazionale. Al momento, comunque, rappresentano le migliori informazioni a disposizione sulla base dei dati fruibili a livello nazionale. Sono quindi aperte ad affinamenti, in funzione della qualità e della risoluzione dei dati di base cartografici e dell’evoluzione delle metodologie di elaborazione.

Queste mappe, da considerarsi provvisorie per la Regione Sardegna, mostrano che Portovesme può essere soggetto a fenomeni di inondazione indotti da maremoti generati da sismi (vedi Figura 4-3).

Pertanto si è deciso di eseguire uno studio apposito al fine di verificare con maggior dettaglio l’effettiva situazione di esposizione di Portovesme, in particolare della banchina Est dove verrà ormeggiata la FSRU, alla pericolosità di allagamenti indotti da maremoti generati da sismi.

Per definire le caratteristiche delle onde di maremoto incidenti da largo da prendere in esame per il sito di Portovesme, si è utilizzato lo stesso approccio utilizzato dall’ISPRA per la redazione delle carte di inondazione costiere.

Tale approccio si basa sulla «*quantificazione probabilistica della pericolosità dovuta a maremoti indotti da sismi*» (S-PTHA – *Seismic - Probabilistic Tsunami Hazard Assessment*) sviluppata tra il 2016 e il 2018 nell’ambito del Progetto Europeo TSUMAPS-NEAM (North-Eastern Atlantic, the Mediterranean and connected seas), co-finanziato dal DGECHO e coordinato dall’INGV.

I risultati di TSUMAPS-NEAM sono pubblici e disponibili in internet al sito web:

<http://ai2lab.org/tsumapsneam/interactive-hazard-curve-tool/>

Nel sito sono riportate le curve interattive di pericolosità per tutte le coste del Nord Est Atlantico, del Mediterraneo e dei mari ad esso collegati incluso il Mar Nero.

Ciascuna curva di pericolosità esprime la massima altezza di inondazione (MIH: Maximum Inundation Height) in funzione della probabilità di superamento. Le curve di pericolosità sono espresse in termini di percentili che caratterizzano l’incertezza della previsione.

Le curve vengono fornite per punti posti ad una distanza l’uno dall’altro di circa 20 km e localizzati a largo della costa su una profondità di circa -50 m s.l.m.m.

Dal punto di vista metodologico nell’ambito del presente studio si è operato come segue:

- si sono in primo luogo definite per il sito di Portovesme le caratteristiche a largo delle onde di maremoto utilizzando i risultati forniti da TSUMAPS-NEAM definendo sei scenari di maremoti incidenti;

Committente 	Progettista 	<b>COMMESSA</b> GC/R2004	<b>UNITA'</b> 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente <b>100-ZA-E-10024</b>	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 7 di 68	<b>Rev.</b> 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-008

- si è quindi studiata la propagazione in costa delle onde di maremoto relative ai sei scenari individuati. Per lo studio di propagazione si è utilizzato il codice numerico SWASH che risolve le “Non hydrostatic non linear shallow water equations (NH-NLSWE)” e che è in grado di tenere conto di tutti i principali fenomeni fisici che dominano la propagazione di un’onda di maremoto in costa, inclusa la risalita delle stesse onde lungo costa (wave run-up). Le condizioni al contorno al codice SWASH sono state generate con un codice sviluppato dagli scriventi in grado di generare onde di maremoto di qualsiasi tipo e in particolare onde cnoidali o solitarie.

Per descrivere topograficamente la fascia costiera potenzialmente soggetta a fenomeni di inondazione indotti dalle onde di maremoto, si è utilizzato il DTM della regione Sardegna, realizzato nel 2008, che copre l’intera fascia costiera con una risoluzione di 1,0 m. Il DTM include anche le quote delle opere foranee di Portovesme.

Si riportano di seguito le fonti normative e conoscitive in base alle quali si è sviluppato il presente studio.

- [1] TSUMAPS-NEAM- NEAMTHM18 Documentation: the making of the TSUMAPS-NEAM Tsunami Hazard Model 2018, 11/09/2019;
- [2] TSUMAPS-NEAM: Extended Progress Report, 15/03/2018
- [3] DPCM del 17 febbraio 2017: Istituzione del Sistema d’Alertamento nazionale per i maremoti generati da sisma- SiAM;
- [4] Allegati 1-4 al Dpcm del 17 febbraio 2017;
- [5] Art.18 del Decreto Legislativo 2 gennaio 2018, n.1del 2018 “Codice della protezione civile”;
- [6] Indicazioni per l’aggiornamento delle pianificazioni di protezione civile per il rischio maremoto, 05/06/2017;
- [7] Allegato 1 alle indicazioni operative – Metodologia utilizzata per la definizione delle zone di alertamento, 05/06/2017;
- [8] Intergovernmental Oceanographic Commission Technical Series (UNESCO): Tsunami Early Warning and Mitigation System in the North Eastern Atlantic, the Mediterranean and Connected Seas, NEAMTWS - Implementation Plan v.3.4, ottobre 2009;

Committente 	Progettista 	<b>COMMESSA</b> GC/R2004	<b>UNITA'</b> 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente <b>100-ZA-E-10024</b>	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 8 di 68	<b>Rev.</b> 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-008

#### 4. ANALISI PROBABILISTICA E DEFINIZIONE DELLE ONDE DI MAREMOTO INCIDENTI

##### 4.1. Quantificazione probabilistica della pericolosità dovuta a maremoti indotti da sismi

Come accennato in precedenza, la quantificazione probabilistica della pericolosità dovuta a maremoti indotti da sismi (S-PHTA – *Seismic - Probabilistic Tsunami Hazard Assessment*) è stata sviluppata per le coste del Nord-Est Atlantico, del Mediterraneo e dei mari collegati tra il 2016 e il 2018 nell'ambito del Progetto Europeo *TSUMAPS-NEAM* (North-Eastern Atlantic, the Mediterranean and connected seas) co-finanziato dal DGECHO e coordinato dall' INGV (<http://www.tsumaps-neam.eu/>.)

In particolare, seguendo l'isobata – 50,0 m s.l.m.m prospiciente la fascia costiera analizzata che include tutta la costa italiana, la stessa fascia costiera è stata suddivisa in tratti di lunghezza pari a circa 20 km denominata zona di interesse (target area). In corrispondenza all'estremità di ciascun tratto di fascia costiera posta alla profondità – 50,0 m s.l.m.m, sono stati localizzati i punti di interesse (POIs - POints of Interest), dove è stata eseguita la quantificazione probabilistica della pericolosità dovuta ai maremoti.

Il parametro utilizzato per esprimere la pericolosità del maremoto è costituito dalla Massima Altezza di Inondazione (Maximum Inundation Height – MIH) rappresentata nella Figura 4-1. Questa altezza esprime la massima altezza raggiunta dalla cresta delle onde di maremoto rispetto al livello medio marino lungo un profilo topografico ortogonale alla costa. La MIH calcolata in corrispondenza dei POIs rappresenta l'intensità del maremoto nella zona di interesse associata a ciascun POI e quindi non deve essere considerata rappresentativa di un singolo profilo trasversale.

In corrispondenza a ciascun POI vengono fornite le curve di pericolosità. Ciascuna curva di pericolosità esprime la massima altezza di inondazione MIH in funzione della probabilità di superamento. Le curve di pericolosità sono espresse in termini di percentili che caratterizzano l'incertezza della previsione.

Le curve di pericolosità di ciascun POI sono state calcolate prendendo in esame tutte le possibili sorgenti tsunamigeniche che caratterizzano l'area in esame e ricostruendo mediante simulazioni numeriche lineari un elevato numero di scenari di maremoto. I valori di MIH ottenuti lungo le fasce costiere rappresentate da ciascun POI e per ogni scenario di maremoto propagato, sono andati a costituire la popolazione di dati sulla base della quale sono state calcolate le curve di pericolosità. I periodi dei maremoti presi in esame sono compresi tra 120 s ai 3600 s. Si sono analizzati maremoti tali da dar luogo sia ad un cavo che ad una cresta come movimento iniziale della superficie libera.

Committente 	Progettista 	<b>COMMESSA</b> GC/R2004	<b>UNITA'</b> 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente <b>100-ZA-E-10024</b>	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 9 di 68	<b>Rev.</b> 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-008

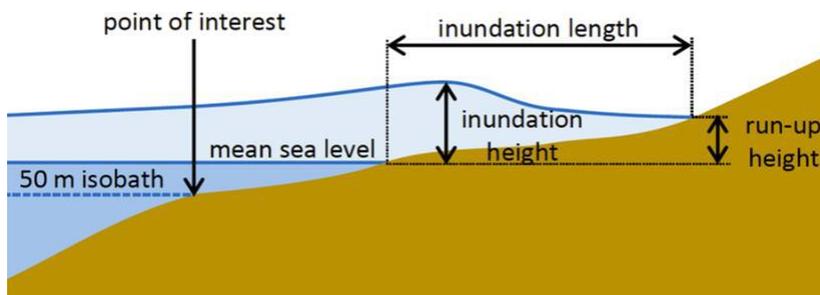


Figura 4-1 Parametri da TSUMAPS-NEAM per definire l'intensità dello tsunami.

Nella Figura 4-2 sono riportati sulla sinistra i POIs localizzati lungo la costa della Sardegna e sulla destra i POIs posti in prossimità di Portovesme. Poiché le onde di maremoto provenienti da largo possono raggiungere Portovesme sia attraverso il canale compreso tra la costa della Sardegna e l'Isola di San Pietro, sia attraverso il canale compreso tra l'Isola di San Pietro e l'Isola di Sant'Antiaco, sono stati selezionati i due POIs denominati rispettivamente TSUMAPS-NORD e TSUMAPS-SUD riportati nel pannello di destra della Figura 4-2 e posti rispettivamente a Nord e a Sud dell'Isola di S. Pietro.

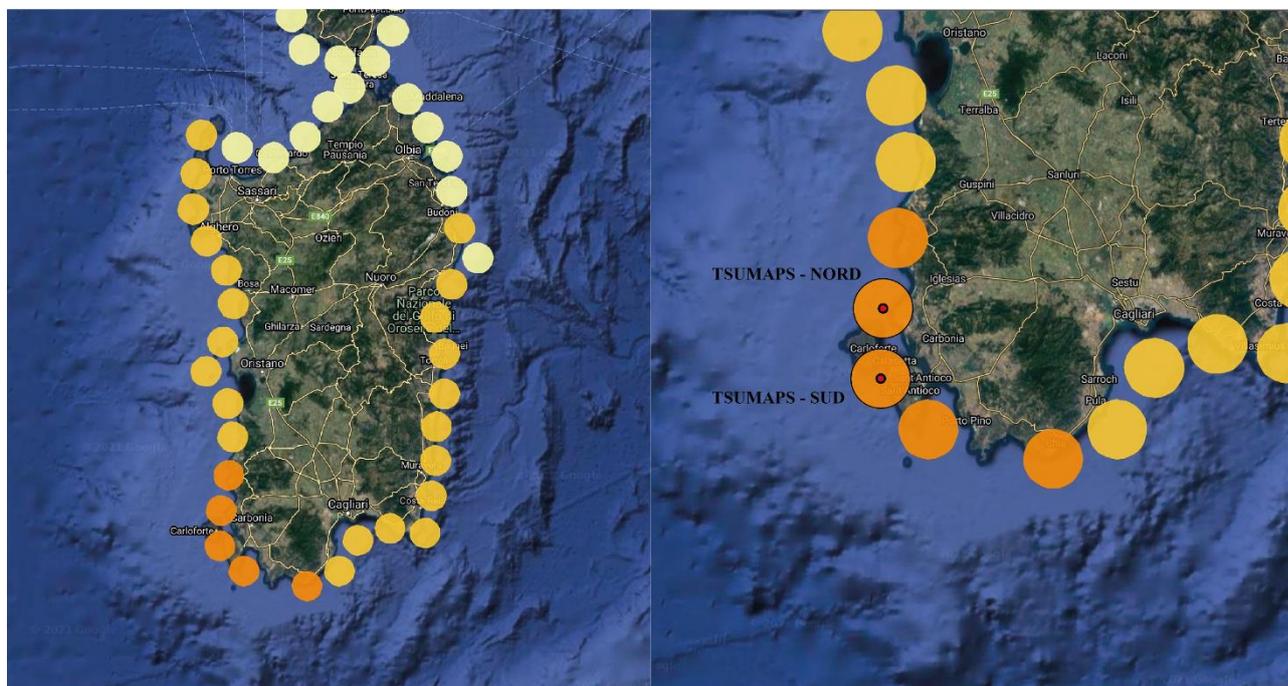


Figura 4-2 "Points of interest (POIs)" della Sardegna a sinistra con i due punti considerati per lo studio in esame a destra.

Nella Figura 4-3 sono riportate, per uno scenario di "allerta rossa", le mappe di inondazione causate da un maremoto nella zona in esame ottenute da ISPRA. Le

Committente  	Progettista 	<b>COMMESSA</b> GC/R2004	<b>UNITA'</b> 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente <b>100-ZA-E-10024</b>	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 10 di 68	<b>Rev.</b> 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-008

mappe, che come indicato nel sito sono da considerarsi provvisorie per la Regione Sardegna, sono state ottenute utilizzando una procedura semplificata che non ha richiesto l'applicazione di simulazioni numeriche tra la profondità di -50.0 m e la costa.

La mappa mostra che buona parte di Portovesme è soggetta ad inondazione a seguito di un maremoto.

Data l'importanza della infrastruttura in progetto, si è deciso di effettuare delle simulazioni numeriche specifiche per confermare o meno le mappe di inondazioni semplificate ottenute da ISPRA.

A tal riguardo si evidenzia che anche nell'ambito del Progetto europeo si suggerisce di eseguire studi specifici numerici allo scopo di verificare i risultati ottenuti con la procedura semplificata (Tonini et al. 2021 – Testing Inundation tsunami maps for evacuation planning in Italy).

A tal fine, come descritto nel seguito, si sono utilizzate come condizioni al contorno di largo per le simulazioni numeriche le MIH definite in corrispondenza dei due POI scelti riportati nella Figura 4-2.

Committente 	Progettista 	<b>COMMESSA</b> GC/R2004	<b>UNITA'</b> 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente <b>100-ZA-E-10024</b>	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 11 di 68	<b>Rev.</b> 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-008

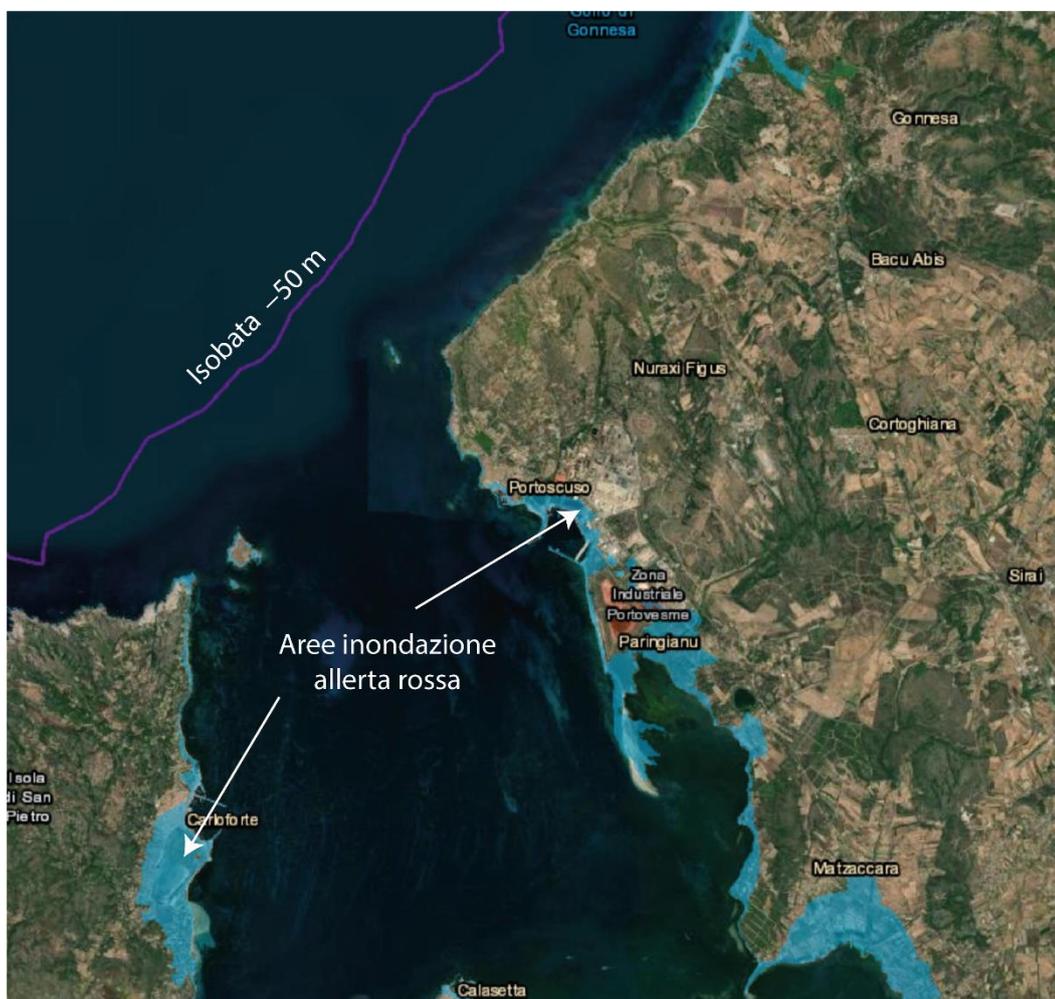


Figura 4-3 Mappe di inondazione provvisorie di allerta rossa definite da ISPRA.

### 3.2 Definizione della Maximum Inundation Height (MIH)

Come accennato, in corrispondenza ad ogni punto di interesse (POI) posto ad una profondità di circa -50 m s.l.m.m. il progetto TSUMAPS-NEAM fornisce le curve di pericolosità che associano la probabilità di superamento  $P_{vr}$  alla MIH incidente. Le curve sono espresse in termini di percentili che caratterizzano l'incertezza della previsione.

Si ricorda che la probabilità di superamento viene definita come segue:

$$P_{vr}(MIH \geq MIH^*) = 1 - \left(1 - \frac{1}{Tr}\right)^{Vn} \quad [1]$$

Committente 	Progettista 	<b>COMMESSA</b> GC/R2004	<b>UNITA'</b> 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente <b>100-ZA-E-10024</b>	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 12 di 68	<b>Rev.</b> 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-008

dove  $P_{vr}$  esprime la probabilità che la  $MIH$  risulti superiore alla  $MIH^*$  di progetto (caratterizzata dal tempo di ritorno  $T_r$ ) durante la finestra temporale di durata  $V_n$  comunemente denominate “*tempo di esposizione*” dell’opera.

La direttiva del SiAM stabilisce che la massima altezza di inondazione  $MIH$  da considerare per il calcolo delle aree di allagamento deve essere definita tenendo conto dei seguenti parametri:

- tempo di esposizione  $V_n = 50$  anni;
- tempo di ritorno dell’evento sismico che genera il maremoto  $T_r = 2500$  anni al quale è associata la  $MIH^*$ ;
- curva di pericolosità relativa all’84° percentile.

Utilizzando i primi due parametri si ottiene che la probabilità di superamento dell’“*evento  $MIH^*$  di progetto*” risulta pari a  $P_{vr} = 0,002$  (2%).

Tenendo conto di questi parametri, si riportano nella Figura 4-4 le due curve di pericolosità relative ai due punti TSUMAPS-SUD (linea nera) e TSUMAPS-NORD (linea rossa) corrispondenti all’84° percentile ed i corrispondenti valori di  $MIH$  (pallini nero e rosso) che danno luogo alla probabilità di superamento del 2%. I valori numerici di  $MIH$  così definiti sono riportati nella Tabella 4-1.

Utilizzando un approccio conservativo rispetto a quanto previsto dal SiAM, dovuto al fatto che il tempo di esposizione della FSRU sarà di soli 25 anni e non di 50 anni come richiesto dal SiAM, per lo sviluppo del presente studio si è fatto riferimento ai valori di  $MIH$  richiesti dal SiAM riassunti nella Tabella 4-1.

A tal riguardo si evidenzia che tenendo conto, come detto, che la FSRU sarà ormeggiata al pontile per soli 25 anni, il tempo di esposizione effettivo risulta nel presente caso pari a  $V_n = 25$  anni invece del valore di 50 anni preso in esame dal SiAM. Per cui applicando la [1] con  $V_n = 25$  anni si ottiene per la probabilità di superamento il valore  $P_{vr}$  uguale a circa l’1% ottenendo quindi un dimezzamento della pericolosità rispetto a quella prevista dal SiAM che risulta essere pari al 2%.

Committente 	Progettista 	<b>COMMESSA</b> GC/R2004	<b>UNITA'</b> 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente <b>100-ZA-E-10024</b>	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 13 di 68	<b>Rev.</b> 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-008

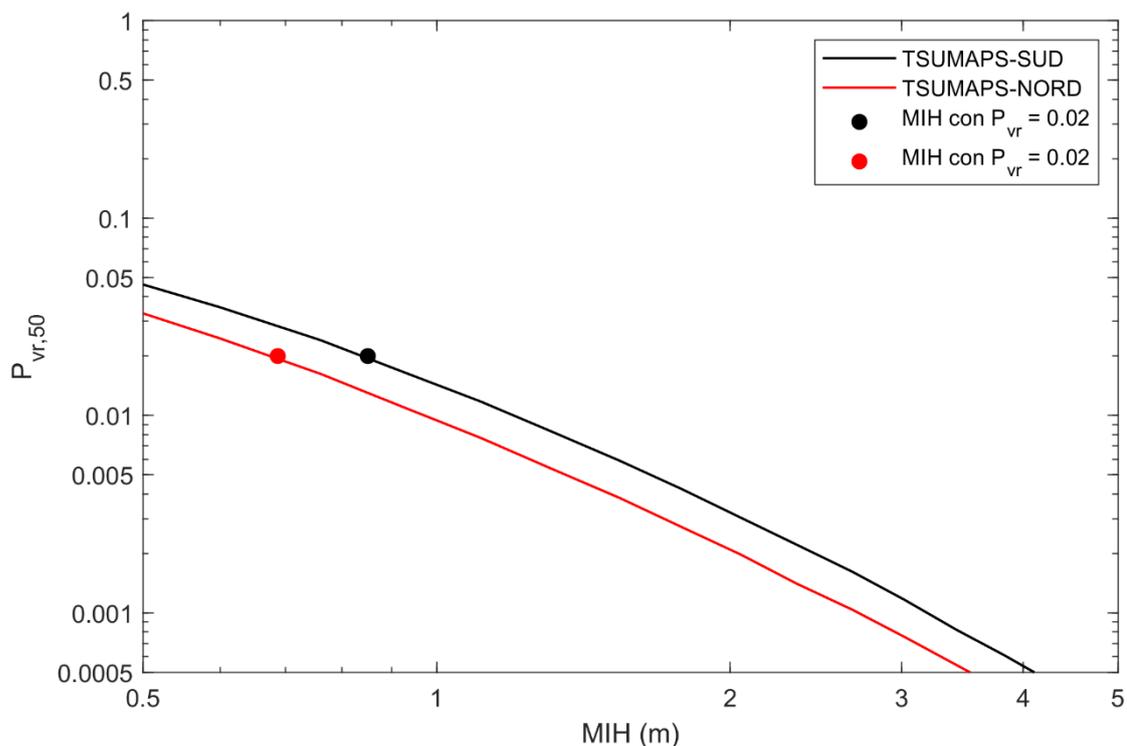


Figura 4-4 Curve di probabilita' per i punti TSUMAPS-NORD e TSUMAPS-SUD.

Tabella 4-1 Valori di MIH di progetto calcolati in base alla direttiva SIAM ed utilizzati per lo studio.

POI	MIH (m)
TSUMAPS-NORD	0.69
TSUMAPS-SUD	0.85

Con riferimento alla Tabella 4-1, non potendo stabilire a priori quali delle due condizioni (TSUMAPS NORD o TSUMAPS SUD) espresse in termini di MIH danno luogo alle peggiori condizioni in termini di inondazione per Portovesme, si è deciso di prenderle in esame entrambe, e quindi di simulare due maremoti:

- il primo, proveniente circa da NORD-OVEST caratterizzato dal valore MIH= 0,69 m in corrispondenza alla batimetria -50,0 m, che si propaga verso Portovesme attraverso il braccio di mare compreso tra la costa sud occidentale della Sardegna e l'Isola di S. Pietro;
- il secondo, proveniente circa da SUD-OVEST caratterizzato dal valore MIH= 0,85 m in corrispondenza alla batimetria -50,0 m, che si propaga verso Portovesme attraverso il braccio di mare compreso tra l'Isola di S. Pietro e l'Isola di Sant'Antiaco.

Committente 	Progettista 	<b>COMMESSA</b> GC/R2004	<b>UNITA'</b> 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente <b>100-ZA-E-10024</b>	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 14 di 68	<b>Rev.</b> 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-008

### 3.3 Definizione delle caratteristiche dei maremoti incidenti di progetto

Per definire ciascun maremoto in modo completo, occorre associare alla MIH calcolata in corrispondenza alla profondità -50,0 m la teoria più idonea per riprodurre l'andamento della superficie libera lungo la stessa profondità dove si è deciso di imporre il contorno di largo per le simulazioni numeriche.

Nella Figura 4-5 è riportato il famoso grafico di Le Méhauté che consente di definire la teoria di moto ondoso più appropriata da associare ad un'onda caratterizzata dal periodo T, dall'altezza H che si propaga su un fondale di profondità h che nel nostro caso risulta uguale a 50 m.

Per quanto riguarda il periodo T delle onde di maremoto da associare alle MIH definite in precedenza, si è deciso di prendere in esame il campo dei periodi utilizzato nell'ambito del progetto TSUMAPS-NEAM per lo studio della propagazione delle onde di maremoto che è stato eseguito tra le sorgenti tsunamigeniche fino a raggiungere le "target areas". Tale campo di periodi risulta, come detto, compreso tra 120 s e 3600 s.

Di conseguenza con riferimento alla Figura 4-5, poichè il valore massimo dell'asse delle ascisse risulta nel nostro caso pari a  $h/gT^2 = 0,00035$  con  $T=120$  s, si ottiene che le onde oggetto delle simulazioni sono sicuramente di tipo cnoidale o solitarie. Pertanto per riprodurre l'andamento della superficie libera lungo il contorno di largo ( $h = 50$  m) si è deciso di utilizzare la teoria dell'onda cnoidale del quinto ordine definita da Fenton 1999 (Fenton, J. D. 1999. The cnoidal theory of water waves. In Developments in offshore engineering 55-100. Gulf Professional Publishing).

Committente 	Progettista 	<b>COMMESSA</b> GC/R2004	<b>UNITA'</b> 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente <b>100-ZA-E-10024</b>	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 15 di 68	<b>Rev.</b> 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-008

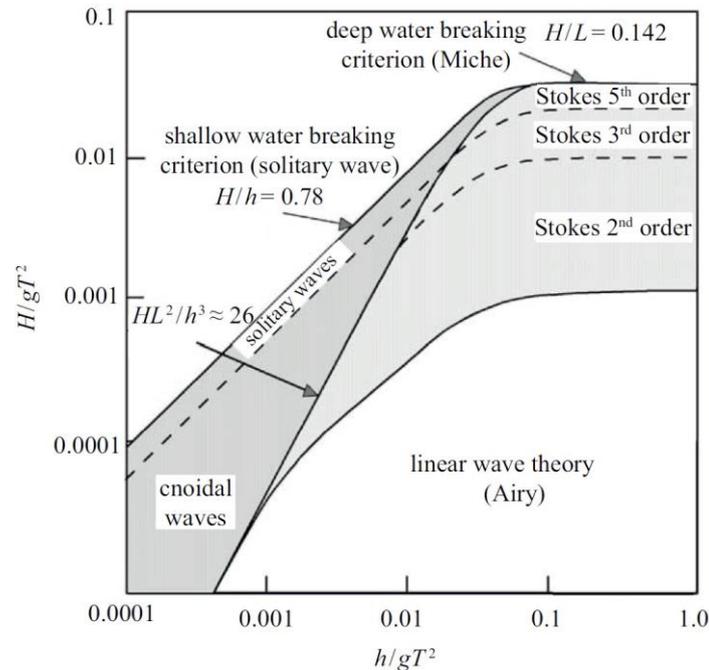


Figura 4-5 Grafico delle teorie d'onda di Le Méhauté.

Per quanto riguarda i periodi da prendere in esame per le simulazioni, si è deciso di considerare in primo luogo il periodo minimo, ovvero  $T=120$  s.

Stabilito il periodo,  $T=120$  s, si è calcolata, applicando un processo iterativo e utilizzando la teoria di Fenton, l'altezza d'onda  $H$  (distanza cresta-cavo) tale da dar luogo ai valori di  $MIH$  di progetto riportati nella Tabella 4-1.

Per quanto riguarda i periodi massimi da prendere in esame, si è calcolato, utilizzando sempre la teoria di Fenton, il periodo in corrispondenza del quale le onde cnoidali diventano onde solitarie assumendo quindi un'altezza d'onda coincidente con la  $MIH$  definita in precedenza.

Per il punto di interesse TSUMAPS-NORD si è ottenuto che per  $T \geq 900$  s le onde cnoidali diventano "onde solitarie" mentre per il punto TSUMAPS-SUD lo stesso risultato si ottiene per  $T \geq 800$  s.

Tabella 4-2 Caratteristiche delle condizioni d'onda simulate.

Condizione al contorno	Tipo d'onda	T (s)	h (m)	a(MIH) (m)	H (m)	$c=\sqrt{gh}$ (m/s)	$L=cT$ (m)
SUD-1	Cnoidale prima cresta	120	50	0.85	1.19	22	2640
SUD-2	Cnoidale prima cavo	120	50	0.85	1.19	22	2640
SUD-3	Solitaria	>800	50	0.85	0.85	22	-

Committente 	Progettista 	<b>COMMESSA</b> GC/R2004	<b>UNITA'</b> 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente <b>100-ZA-E-10024</b>	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 16 di 68	<b>Rev.</b> 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-008

NORD-1	Cnoidale prima cresta	120	50	0.69	1.01	22	2640
NORD-2	Cnoidale prima cavo	120	50	0.69	1.01	22	2640
NORD-3	Solitaria	>900	50	0.69	0.69	22	-

Infine per ogni scenario relativo al periodo  $T=120$  s, si è deciso di esaminare sia il caso in cui la cresta dell'onda cnoidale generata sulla profondità  $-50,0$  m preceda il cavo, sia il caso in cui il cavo preceda la cresta.

In conclusione quindi per ogni maremoto simulato, si sono presi in esame tre scenari:

- $T=120$  s considerando il caso in cui la cresta dell'onda preceda il cavo;
- $T=120$  s considerando il caso in cui il cavo preceda la cresta dell'onda;
- $T$  tale da dar luogo ad una "onda solitaria".

In tal modo si sono prese in esame le due tipologie di onda estreme che si possono verificare nel caso specifico ricadenti nel campo di periodi  $120 \text{ s} \leq T \leq 3600 \text{ s}$ .

Nella Tabella 4-2 sono riassunte le caratteristiche sia degli tsunami provenienti da TSUMAPS-NORD (NORD-X) che di quelli provenienti da TSUMAPS-SUD (SUD-X). In totale quindi si sono simulati due maremoti per ciascuno dei quali sono stati simulati tre scenari.

## 5. STUDIO NUMERICO DI PROPAGAZIONE TSUNAMI ALL'INTERNO DELL'AREA PORTUALE

### 4.1 Descrizione metodologia e modello di calcolo SWASH

Come precedentemente accennato, per l'analisi delle onde di maremoto è stato utilizzato il modello numerico SWASH (Simulating WAVes till Shore), sviluppato da TUDelft, che risolve le equazioni non-idrostatiche delle onde non-lineari in acqua bassa (non-hydrostatic non linear shallow water equations - NH-NLSWE). Il modello risolve la fase delle onde, ovvero calcola la variazione temporale della superficie libera in ogni nodo di griglia. Inoltre, grazie alla suddivisione nella direzione verticale in più "layers" (strati) è in grado di tenere conto della dispersione in frequenza delle onde anche se in modo approssimato, aspetto molto importante per simulare accuratamente le onde di maremoto le quali possono presentare caratteristiche dispersive in frequenza. Inoltre, tutti i fenomeni più importanti come la rifrazione, lo shoaling, la riflessione, la diffrazione, il frangimento e l'attrito dovuto al fondo che diventa molto importante in acque basse, sono simulate dal modello.

Poichè SWASH è in grado di simulare i fenomeni di inondazione costiera includendo quindi una formulazione del tipo "wet and dry", sia la batimetria delle aree sommerse che la topografia delle aree emerse sono state utilizzate per generare i domini di calcolo.

Committente  	Progettista 	<b>COMMESSA</b> GC/R2004	<b>UNITA'</b> 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente <b>100-ZA-E-10024</b>	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 17 di 68	<b>Rev.</b> 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-008

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

- carte Nautiche IGMI CN 45, 46 e 47;
- carta nautica IGMI CN 294-Canale di S.Pietro;
- dati batimetrici Emodnet;
- rilievo batimetrico dell'area portuale eseguito dalla Geosintech nel 2019;
- planimetria generale dell'area di dragaggio stato di Progetto relativo al Progetto Definitivo di dragaggio (Capogruppo mandataria: Intercantieri Vittadello) redatto nel 2016.

Per quanto riguarda la topografia dell'area, invece, è stato utilizzato il DTM della Regione Sardegna, realizzato nel 2008, che copre l'intera fascia costiera con una risoluzione di 1,0 m. Questo DTM include anche le quote delle opere foranee di Portovesme. I dati sono ad accesso libero scaricabili dal geoportale della Regione Sardegna.

Per la propagazione dei due maremoti provenienti da Sud-Ovest (TSUMAPS-SUD) e da Nord-Ovest (TSUMAPS-NORD) sono state implementate due griglie di calcolo di seguito descritte.

La griglia utilizzata per le condizioni al contorno SUD (maremoto da Sud-Ovest) è mostrata in Figura 5-1 e copre una estensione di 18.5 km x 7.8 km con una maglia di risoluzione 20 m lontano da Portovesme che si infittisce avvicinandosi al porto dove diventa di 10 m nell'area circostante e interna a Portovesme. La generazione dell'onda di maremoto è stata effettuata lungo il lato SO disposto parallelamente alla batimetrica -50 m corrispondente al POI TSUMAPS-SUD. Nei rimanenti lati "aperti" del dominio di calcolo è stata imposta la condizione di assorbimento dell'energia delle onde in uscita dal dominio di calcolo. Assumendo un approccio cautelativo, tutte le strutture sono state considerate completamente riflettenti nella loro altezza.

Committente  	Progettista 	<b>COMMESSA</b> GC/R2004	<b>UNITA'</b> 001
	Località <b>PORTOVESME (SU)</b>	Riferimento Committente <b>100-ZA-E-10024</b>	
	Progetto / Impianto <b>TERMINALE DI PORTOVESME</b>	Pag. 18 di 68	<b>Rev.</b> 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-008

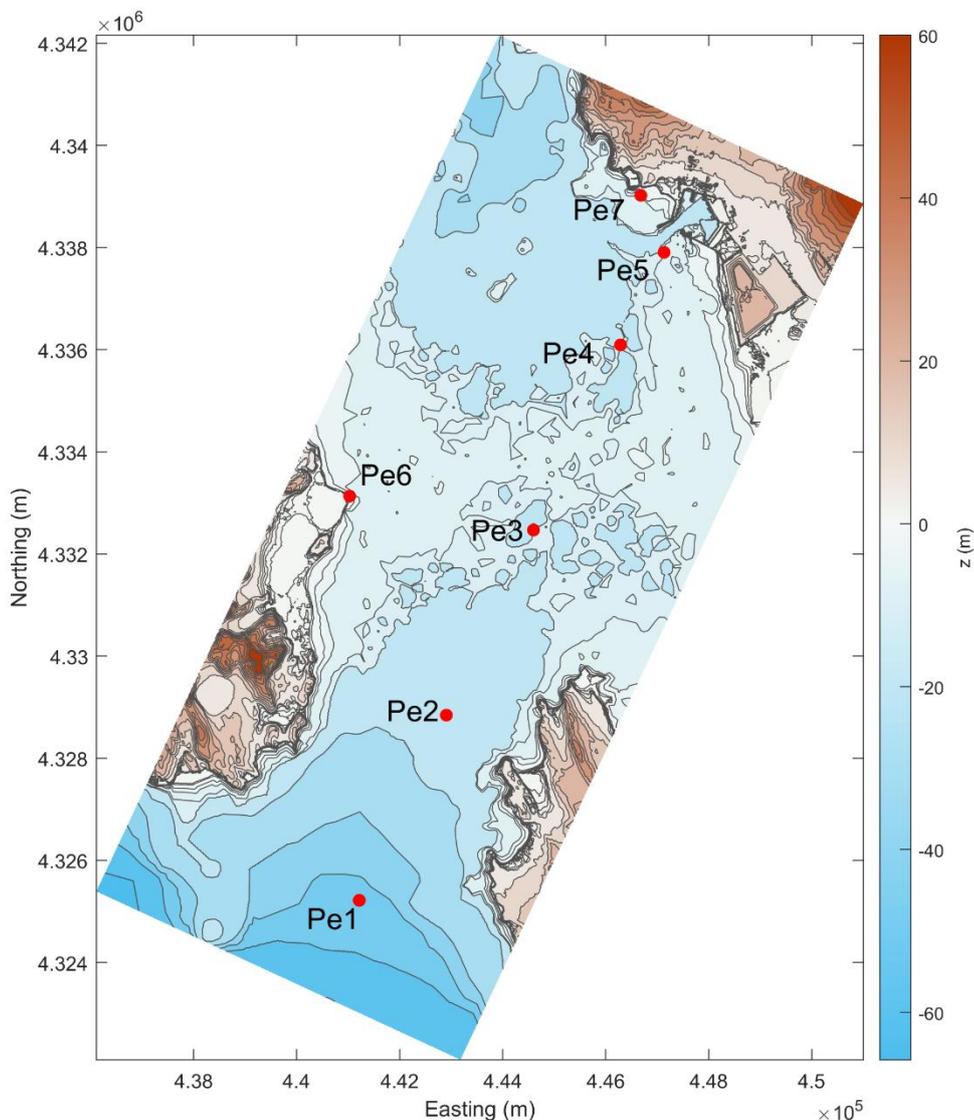


Figura 5-1 Griglia di calcolo per condizioni al contorno SUD (maremoto da Sud-Ovest).

La griglia utilizzata per le condizioni al contorno NORD è invece mostrata in Figura 5-2 e copre un'estensione di 10 km x 9.4 km con una maglia di risoluzione 20 m lontano da Portovesme e di 10 m nell'area circostante e interna a Portovesme. La generazione del maremoto è stata effettuata lungo il lato NO disposto parallelamente alla batimetrica -50 m corrispondente al POI TSUMAPS-NORD. Lungo i rimanenti lati "aperti" del dominio di calcolo è stata imposta la condizione di assorbimento dell'energia delle onde in uscita dal dominio di calcolo. Anche in questo caso tutte le strutture sono state considerate completamente riflettenti.

Committente 	Progettista 	<b>COMMESSA</b> GC/R2004	<b>UNITA'</b> 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente <b>100-ZA-E-10024</b>	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 19 di 68	<b>Rev.</b> 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-008

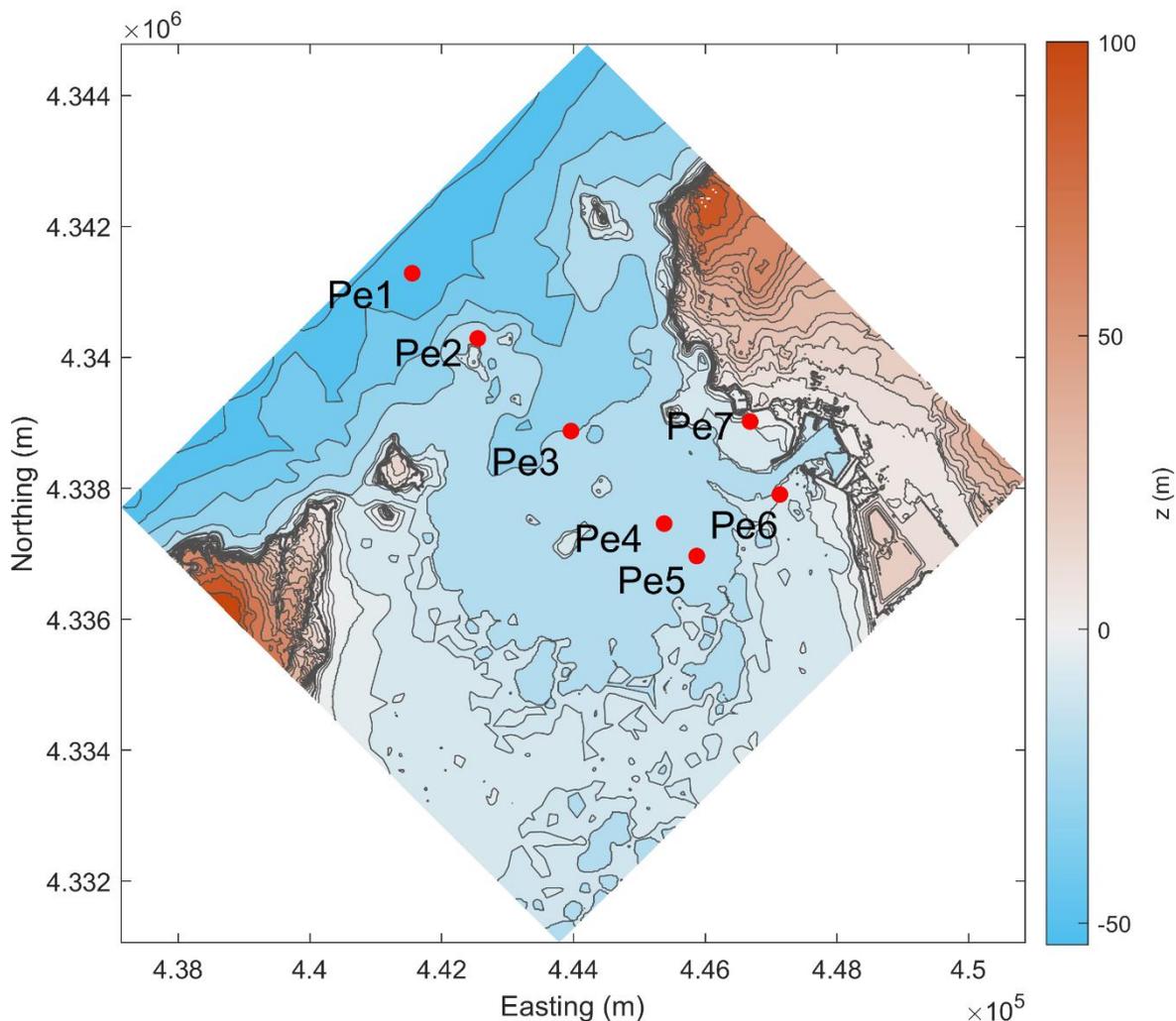


Figura 5-2 Griglia di calcolo per condizioni al contorno NORD (maremoto da Nord-Ovest).

La generazione dell'onda di maremoto è stata effettuata imponendo lungo il contorno di largo delle due griglie la serie temporale dei livelli idrici corrispondente ad onde cnoidali o solitarie utilizzando la teoria di Fenton. La generazione del maremoto è stata fatta partire circa 200 s dopo l'inizio della simulazione per garantire alla stessa simulazione una buona stabilità.

Infine nella Figura 5-3 è mostrato uno zoom dell'area interna portuale. In Figura 5-1, Figura 5-2 e Figura 5-3 sono indicati i punti (pallini rossi) contrassegnati con dei codici in corrispondenza dei quali è stato estratto l'andamento temporale della superficie libera durante le simulazioni. Nei punti P1, P2 e P3, posti lungo la banchina Est, oltre alla superficie libera sono state estratte anche le velocità.

Committente 	Progettista 	<b>COMMESSA</b> GC/R2004	<b>UNITA'</b> 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente <b>100-ZA-E-10024</b>	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 20 di 68	<b>Rev.</b> 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-008

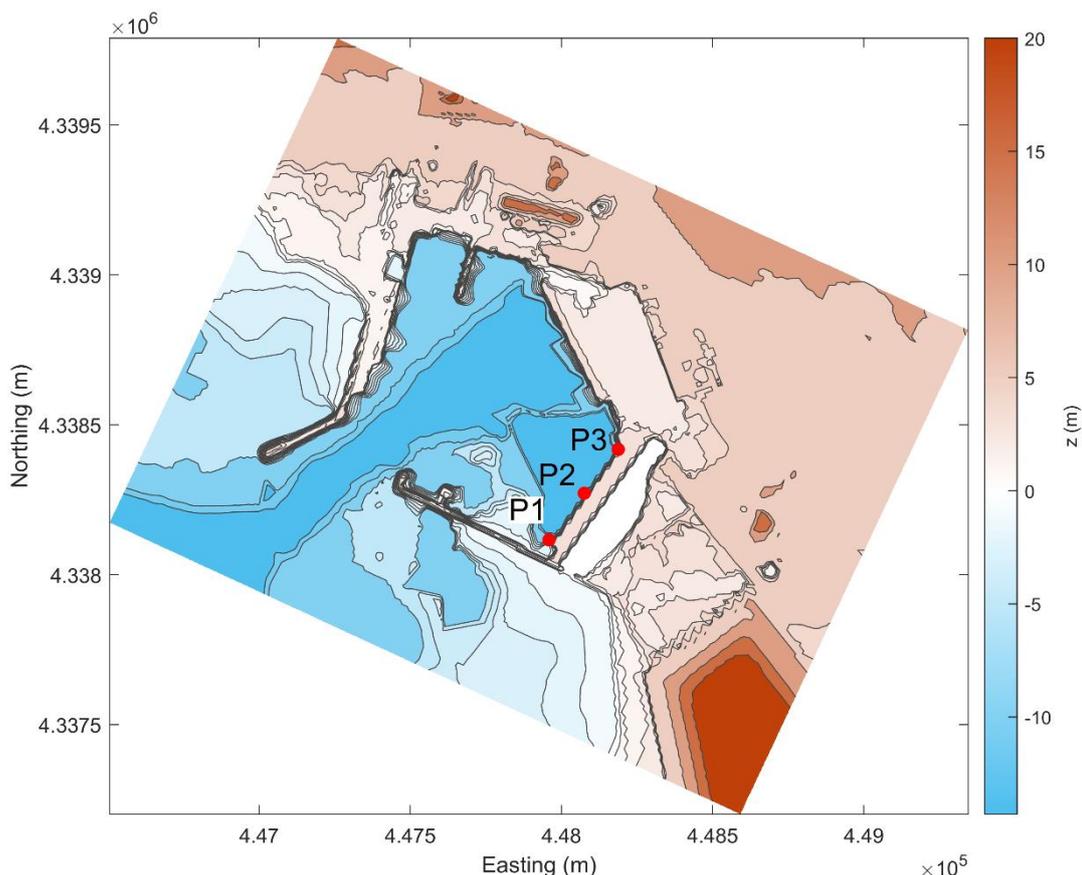


Figura 5-3 Zoom dei domini di calcolo nell'area portuale.

#### 4.2 Risultati tsunami proveniente da TSUMAPS-SUD

Di seguito sono mostrati i risultati dei tre scenari SUD-1, SUD-2 e SUD-3 relativi al maremoto TSUMAPS-SUD proveniente da Sud-Ovest. Per ogni condizione al contorno (scenario) sono presentate prima delle immagini che mostrano in diversi istanti di tempo l'evoluzione del maremoto nel dominio di calcolo. Successivamente viene mostrata la variazione della superficie libera rispetto al livello medio marino in corrispondenza dei punti esterni ed interni a Portovesme riportati nella Figura 5-1 e nella Figura 5-3. Inoltre viene riportata la velocità calcolata lungo la banchina Est (punti P1, P2 e P3) in modulo ( $v$ ) e rispetto alle due componenti valutate in direzione ortogonale ( $v_{\perp}$ ) e parallela ( $v_{//}$ ) alla stessa banchina.

Infine i risultati sono sintetizzati mostrando i valori massimi e minimi della variazione della superficie libera rispetto al livello medio marino e i valori massimi delle risultanti delle velocità omnidirezionali calcolati nei punti P1, P2 e P3 disposti lungo la banchina Est.

Committente 	Progettista 	<b>COMMESSA</b> GC/R2004	<b>UNITA'</b> 001
	Località <b>PORTOVESME (SU)</b>	Riferimento Committente <b>100-ZA-E-10024</b>	
	Progetto / Impianto <b>TERMINALE DI PORTOVESME</b>	Pag. 21 di 68	<b>Rev.</b> 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-008

#### 4.2.1 Risultati tsunami SUD-1

Nella Figura 5-4, nella Figura 5-5 e nella Figura 5-6 è mostrata l'evoluzione spaziotemporale del maremoto. La Figura 5-4 mostra chiaramente che l'onda di maremoto che passa nel braccio di mare compreso tra le isole di San Pietro e Sant'Antioco subisce un processo di dispersione circonferenziale dell'energia nella porzione di mare posta a valle delle Isole la quale si comporta come una sorta di avamposto rispetto a Portovesme. Questo fenomeno insieme alla dispersione in frequenza contribuisce a ridurre l'energia specifica del maremoto.

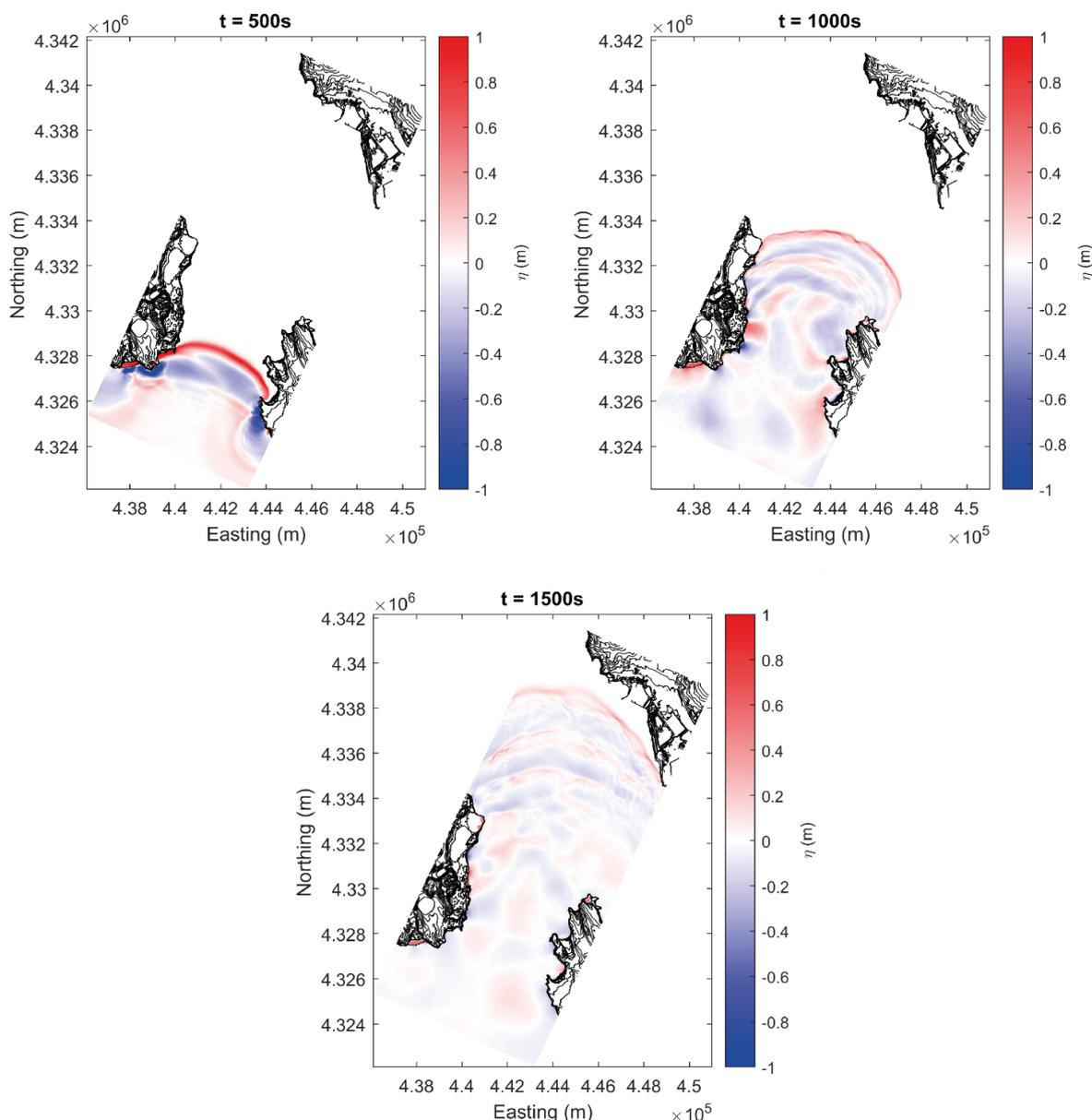


Figura 5-4 Propagazione di SUD-1 nell'intera griglia di calcolo a tre diversi istanti nel tempo.

Committente 	Progettista 	<b>COMMESSA</b> GC/R2004	<b>UNITA'</b> 001
	Località <b>PORTOVESME (SU)</b>	Riferimento Committente <b>100-ZA-E-10024</b>	
	Progetto / Impianto <b>TERMINALE DI PORTOVESME</b>	Pag. 22 di 68	<b>Rev.</b> 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-008

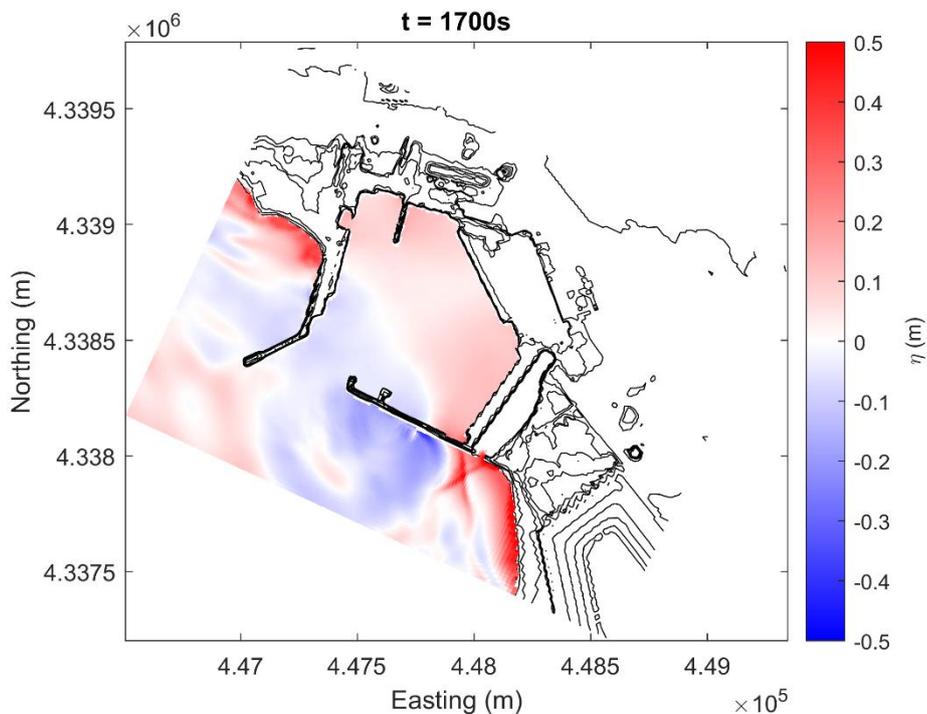


Figura 5-5 Propagazione di SUD-1 per  $t=1700$  s nell'area interna portuale.

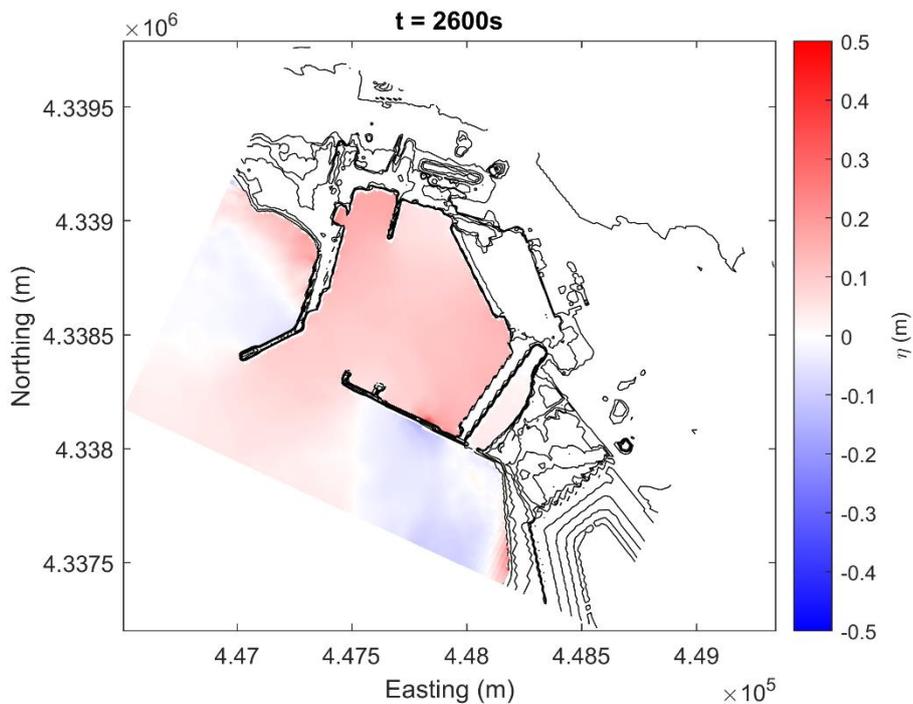


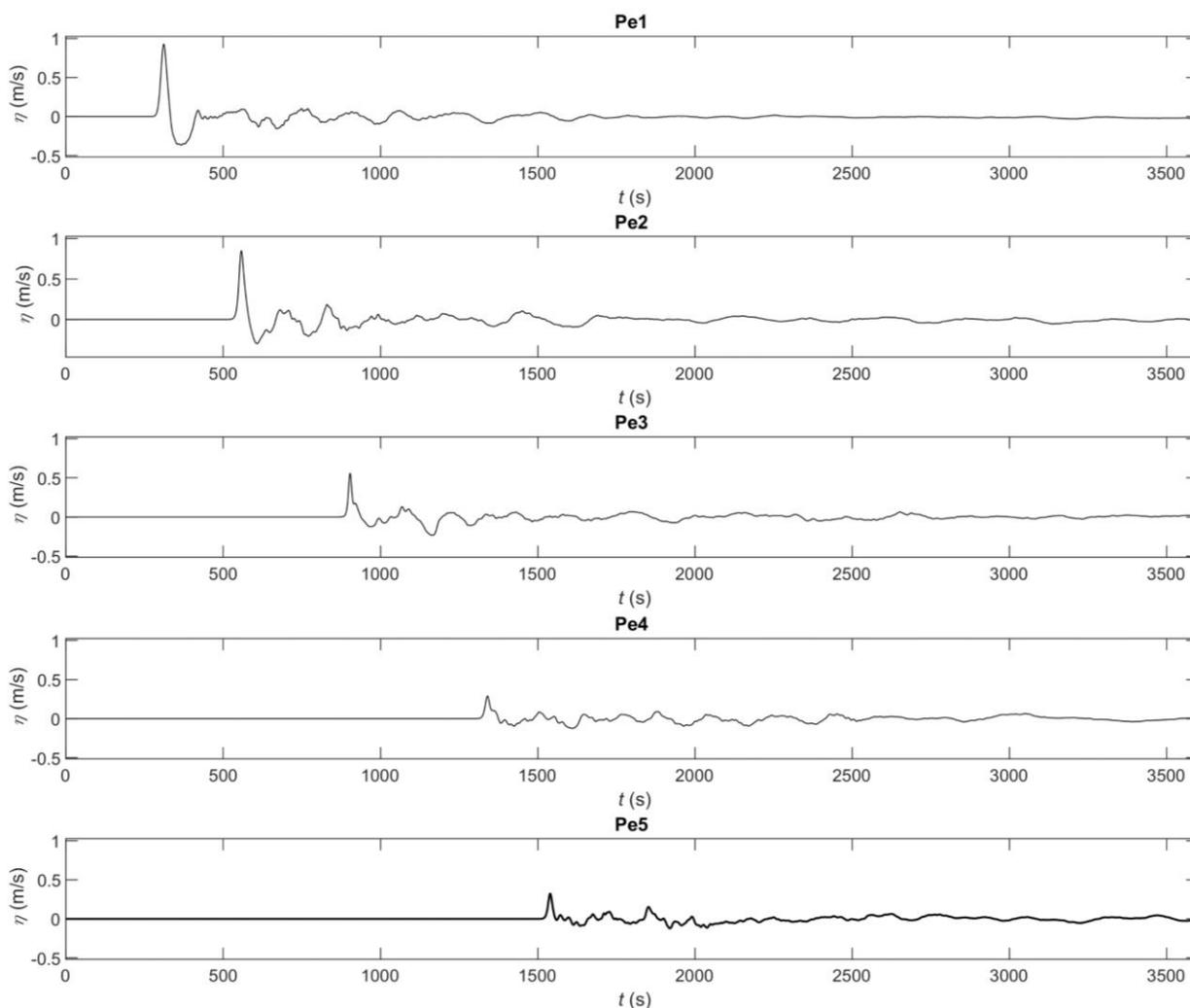
Figura 5-6 Propagazione di SUD-1 durante il massimo valore di superficie libera registrato nei punti P1, P2 e P3.

Committente 	Progettista 	<b>COMMESSA</b> GC/R2004	<b>UNITA'</b> 001
	Località <b>PORTOVESME (SU)</b>	Riferimento Committente <b>100-ZA-E-10024</b>	
	Progetto / Impianto <b>TERMINALE DI PORTOVESME</b>	Pag. 23 di 68	<b>Rev.</b> 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-008

Nella Figura 5-6 e' mostrato l'istante di tempo in cui la superficie libera fa registrare il suo massimo lungo la banchina EST. In questo caso per SUD-1 tutta la superficie libera interna al porto oscilla in fase con una oscillazione di ampiezza pari a circa +0.2 m s.l.m. L'entità dell'oscillazione non è in grado di determinare zone di allagamento nel porto.

In Figura 5-7 e in Figura 5-8 è invece mostrata la variazione della superficie libera rispetto al livello medio marino nel tempo nei punti definiti in Figura 5-1. Si può chiaramente notare come, una volta uscita dal canale tra le isole di San Pietro e Sant'Antioco, l'altezza d'onda dello tsunami inizi a diminuire sensibilmente per dispersione circonferenziale dell'energia e per attrito sul fondo causato dai bassi fondali ma senza che avvenga frangimento. In Pe5, corrispondente all'imboccatura di Portovesme, la cresta dello tsunami raggiunge un valore di +0.32 m s.l.m.



Committente  	Progettista 	<b>COMMESSA</b> GC/R2004	<b>UNITA'</b> 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente <b>100-ZA-E-10024</b>	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 24 di 68	<b>Rev.</b> 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-008

Figura 5-7 Superficie libera nel tempo nei punti esterni a Portovesme per SUD-1.

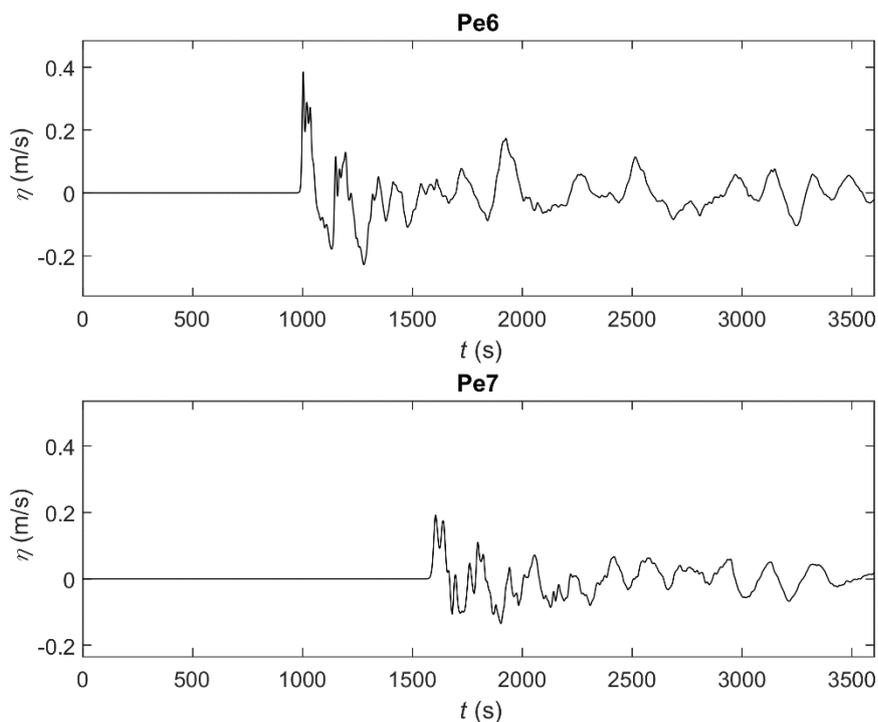


Figura 5-8 Superficie libera nel tempo nei punti posizionati all'imboccatura di Carloforte (Pe6) e Portoscuso (Pe7) per SUD-1.

In Figura 5-9 è riportata la variazione della superficie libera rispetto al livello medio marino lungo la banchina EST. I valori massimi e minimi raggiungono all'incirca  $\pm 0.20$  m s.l.m. e oscillano in fase nei punti P1, P2 e P3.

Infine in Figura 5-10, in Figura 5-11 e in Figura 5-12 sono mostrate le velocità rispettivamente in corrispondenza dei punti P1, P2 e P3 della banchina Est. Nel primo pannello delle figure è mostrato il modulo della velocità, mentre nel secondo e terzo pannello sono riportate le componenti della velocità lungo la direzione parallela e perpendicolare alla banchina EST.

Poichè le oscillazioni nel porto sono caratterizzate da un periodo elevato, le velocità risultano generalmente modeste con un picco del modulo della velocità registrato per P1 di circa 0.3 m/s che si verifica dopo circa 2000 s di simulazione.

Committente 	Progettista 	<b>COMMESSA</b> GC/R2004	<b>UNITA'</b> 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente <b>100-ZA-E-10024</b>	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 25 di 68	<b>Rev.</b> 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-008

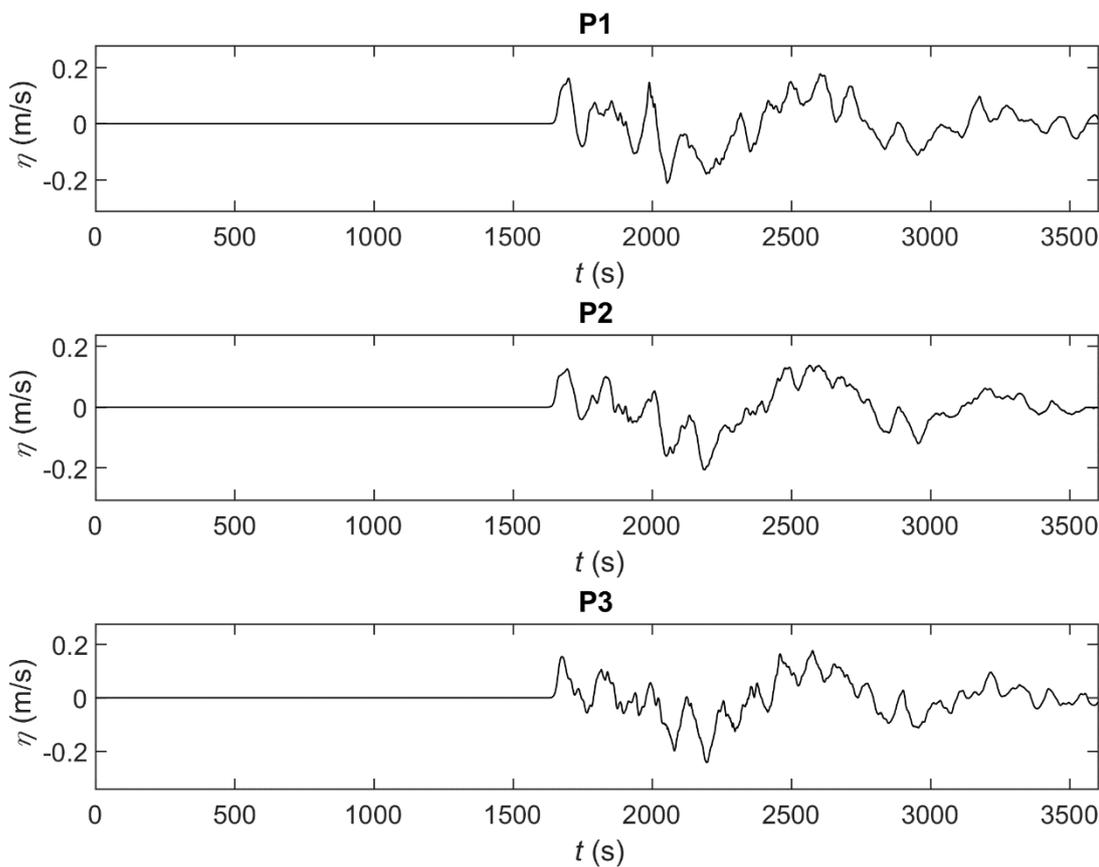


Figura 5-9 Superficie libera nel tempo per i punti posizionati lungo la banchina EST per SUD-1.

Committente 	Progettista 	<b>COMMESSA</b> GC/R2004	<b>UNITA'</b> 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente <b>100-ZA-E-10024</b>	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 26 di 68	<b>Rev.</b> 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-008

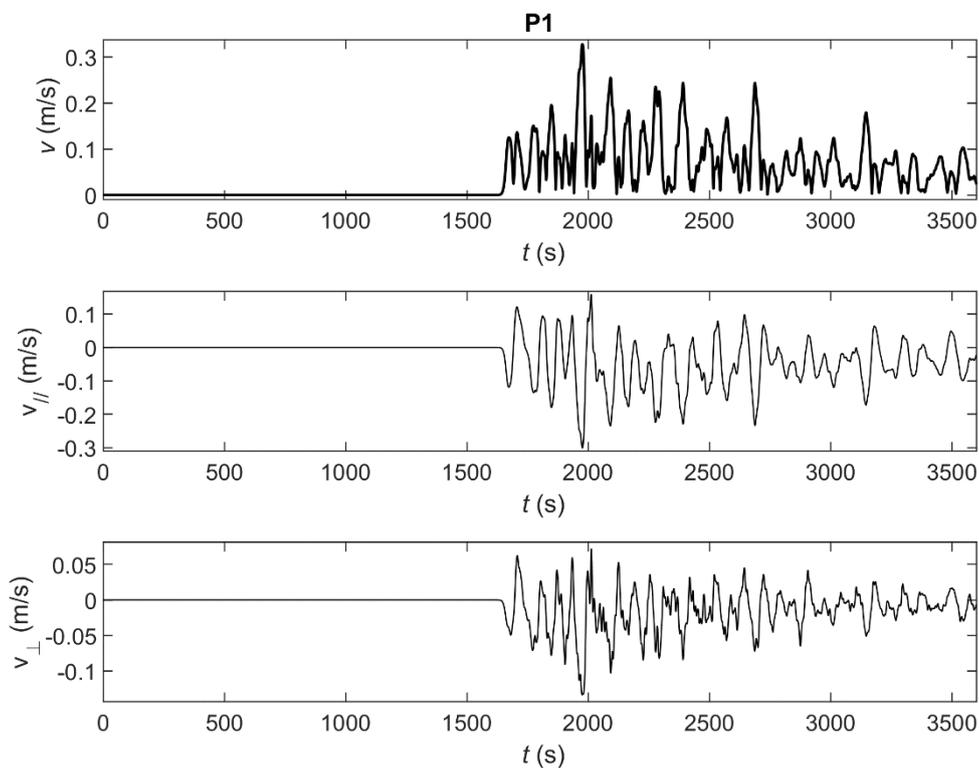


Figura 5-10 Velocità nel punto P1 per SUD-1.

Committente 	Progettista 	<b>COMMESSA</b> GC/R2004	<b>UNITA'</b> 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente <b>100-ZA-E-10024</b>	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 27 di 68	<b>Rev.</b> 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-008

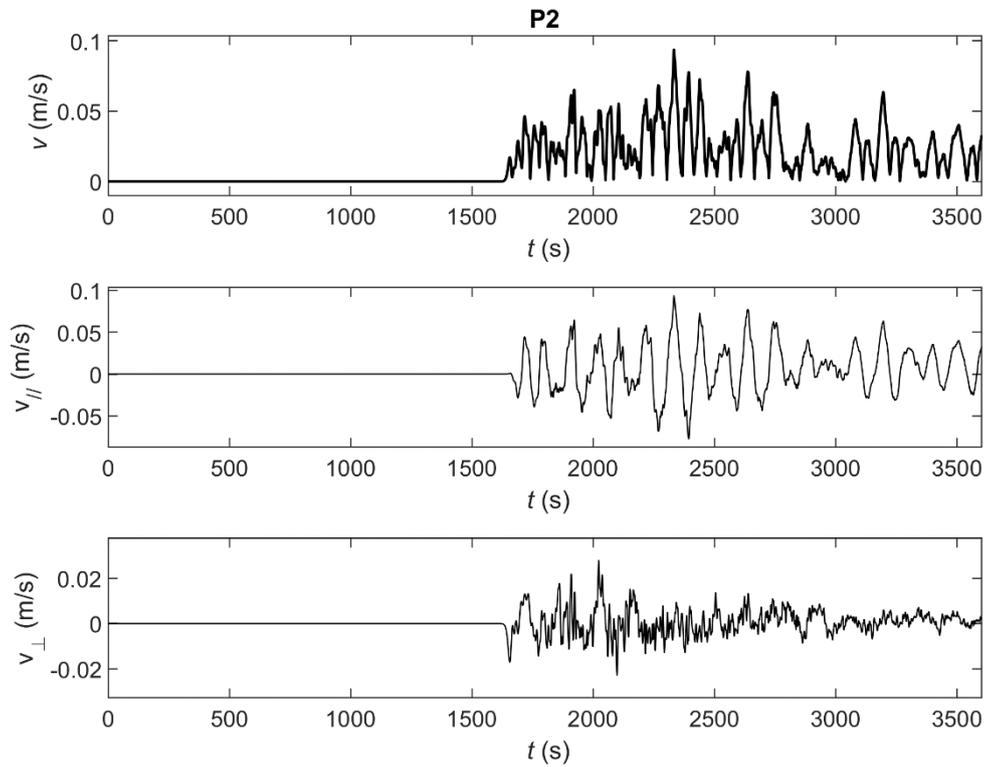


Figura 5-11 Velocità nel punto P2 per SUD-1.

Committente 	Progettista 	<b>COMMESSA</b> GC/R2004	<b>UNITA'</b> 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente <b>100-ZA-E-10024</b>	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 28 di 68	<b>Rev.</b> 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-008

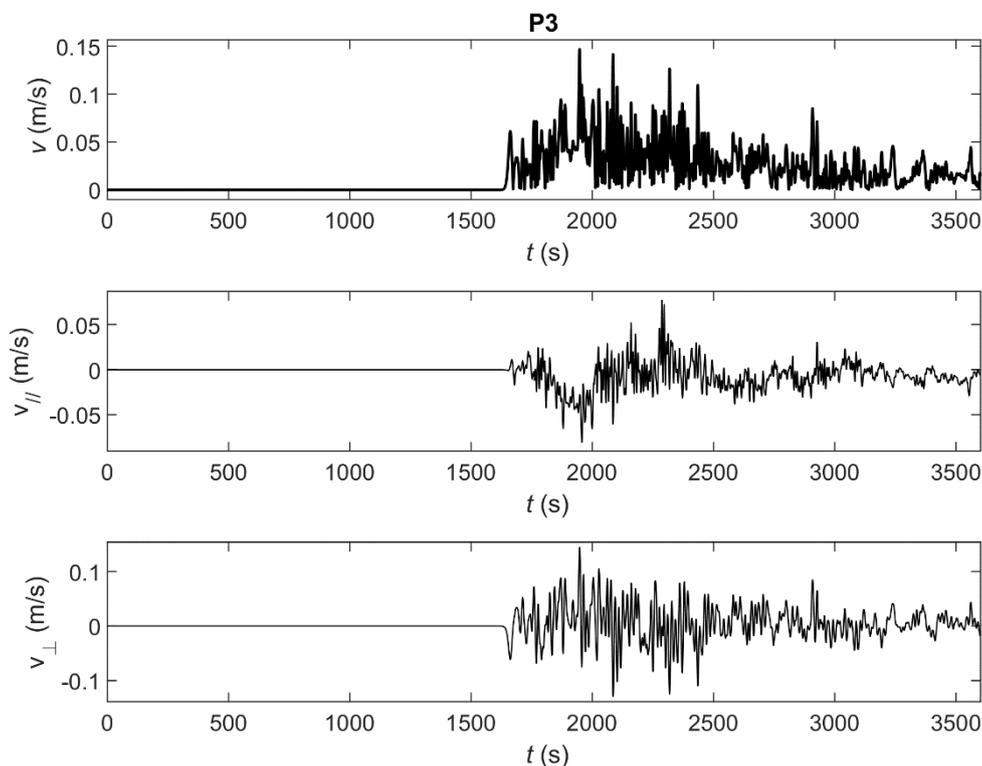


Figura 5-12 Velocità nel punto P3 per SUD-1.

#### 4.2.2 Risultati tsunami SUD-2

Nella Figura 5-13, nella Figura 5-14 e nella Figura 5-15 è mostrata l'evoluzione spazio-temporale del maremoto. La differenza rispetto al caso precedente è che la cresta dell'onda cnoidale di maremoto è preceduta da un cavo invece che da una cresta; ciò si può chiaramente notare nelle figure citate. La Figura 5-13 mostra chiaramente che l'onda di maremoto che passa nel braccio di mare compreso tra le isole di San Pietro e Sant'Antioco subisce un processo di dispersione circonferenziale dell'energia come nel caso precedente. Questo fenomeno insieme alla dispersione in frequenza contribuisce a ridurre l'energia specifica del maremoto. In Figura 5-15 è mostrato l'istante di tempo in cui la superficie libera fa registrare il suo massimo lungo la banchina EST. Per SUD-2 la superficie libera interna al porto non oscilla in fase come per SUD-1 ma fa comunque registrare un valore di oscillazione pressoché costante per tutta la lunghezza della banchina.

Committente 	Progettista 	<b>COMMESSA</b> GC/R2004	<b>UNITA'</b> 001
	Località <b>PORTOVESME (SU)</b>	Riferimento Committente <b>100-ZA-E-10024</b>	
	Progetto / Impianto <b>TERMINALE DI PORTOVESME</b>	Pag. 29 di 68	<b>Rev.</b> 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-008

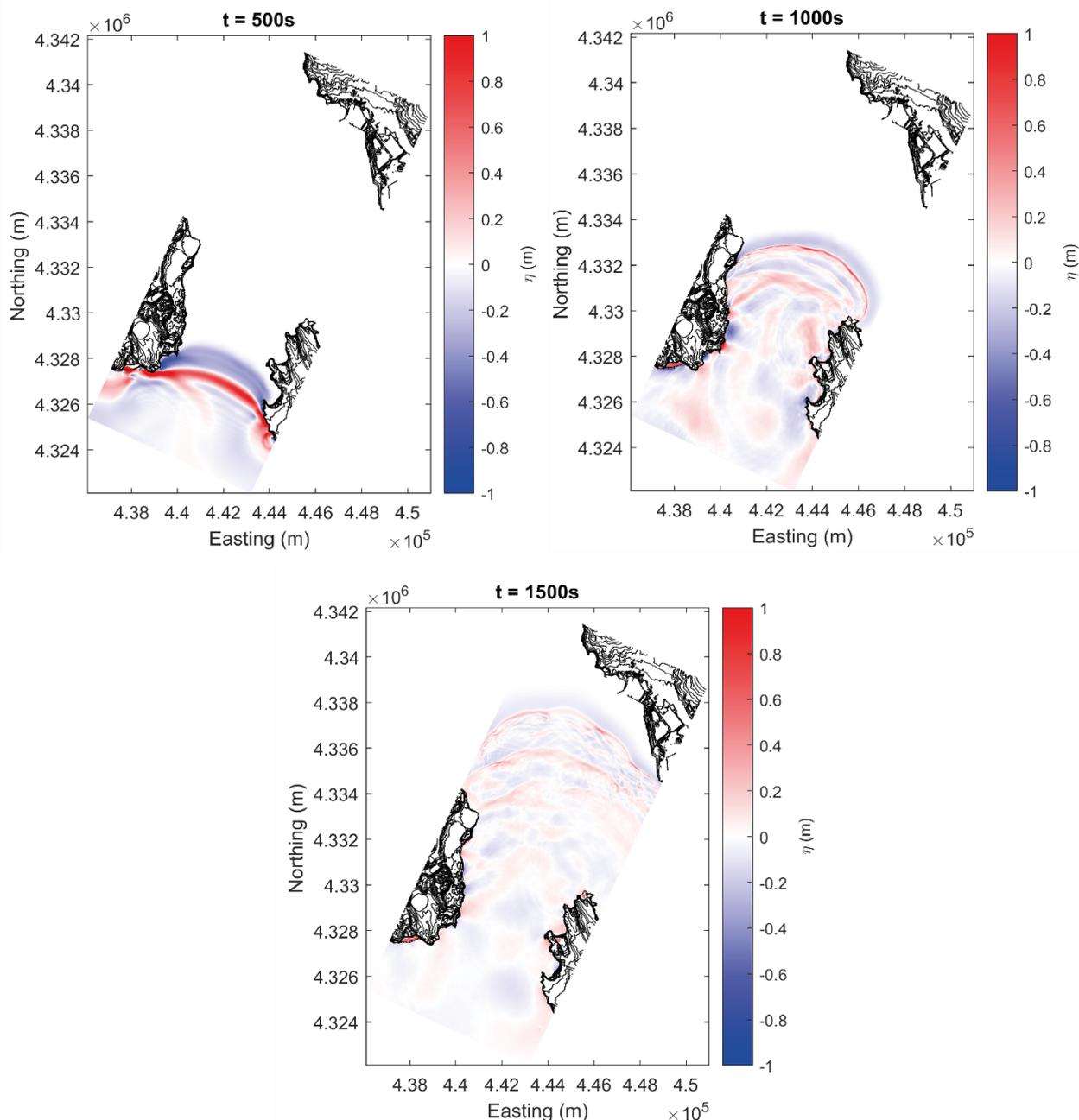


Figura 5-13 Propagazione di SUD-2 nell'intera griglia di calcolo a tre diversi istanti nel tempo.

Committente 	Progettista 	<b>COMMESSA</b> GC/R2004	<b>UNITA'</b> 001
	Località <b>PORTOVESME (SU)</b>	Riferimento Committente <b>100-ZA-E-10024</b>	
	Progetto / Impianto <b>TERMINALE DI PORTOVESME</b>	Pag. 30 di 68	<b>Rev.</b> 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-008

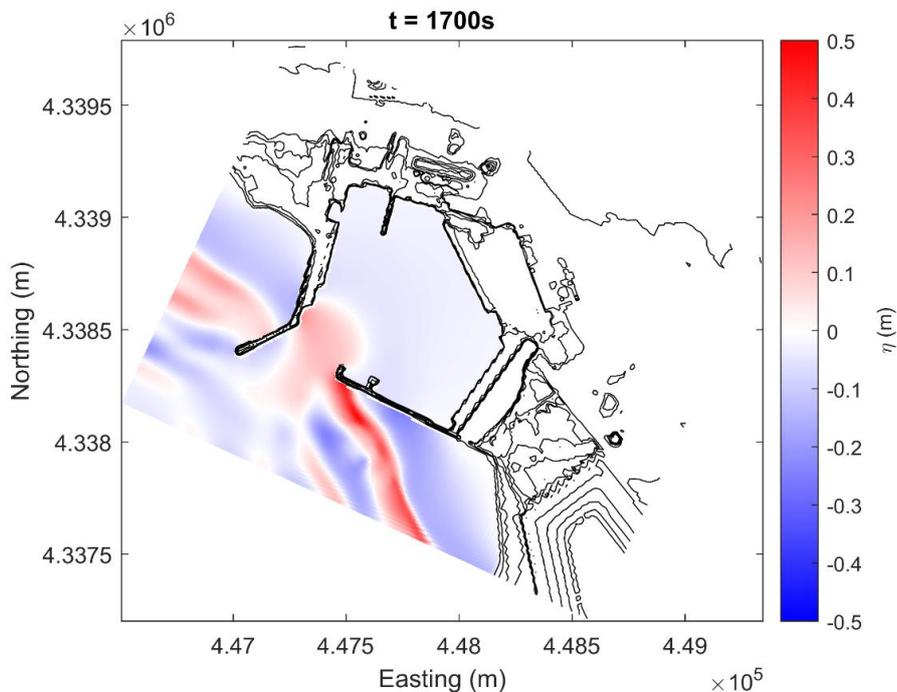


Figura 5-14 Propagazione di SUD-2 per  $t=1700$  s nell'area interna portuale.

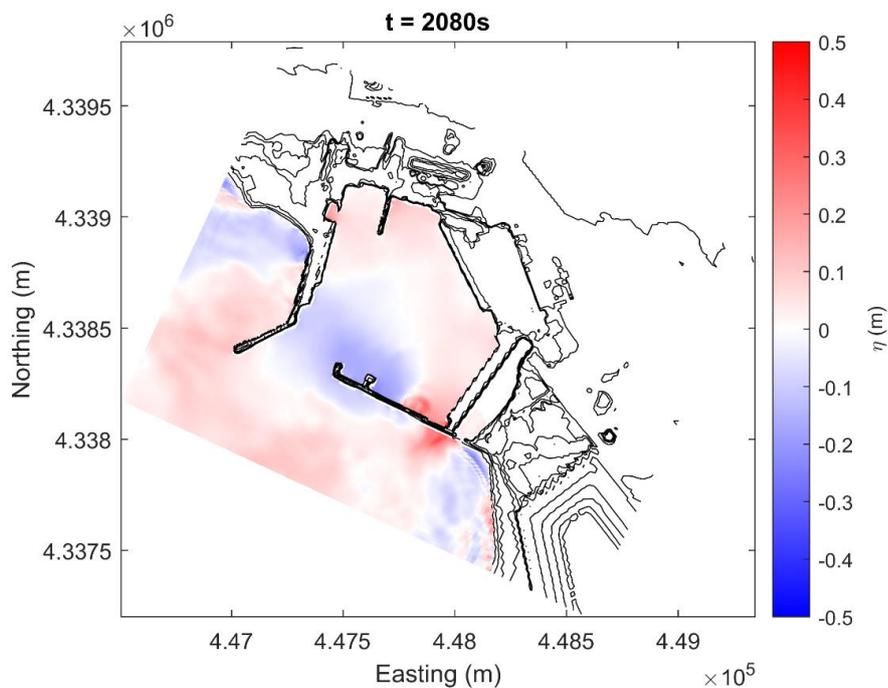


Figura 5-15 Propagazione di SUD-2 durante il massimo valore di superficie libera registrato nei punti P1, P2 e P3.

Committente 	Progettista 	<b>COMMESSA</b> GC/R2004	<b>UNITA'</b> 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente <b>100-ZA-E-10024</b>	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 31 di 68	<b>Rev.</b> 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-008

In Figura 5-16 e Figura 5-17 è mostrata la variazione della superficie libera rispetto al livello medio marino nel tempo nei punti definiti in Figura 5-1. Si può chiaramente notare come, una volta uscita dal canale tra le isole di San Pietro e Sant'Antioco, l'altezza d'onda dello tsunami inizia a diminuire sensibilmente per dispersione circonferenziale dell'energia oltre che a causa dell'attrito al fondo causato dai bassi fondali. Anche in questo caso non si verifica frangimento del moto ondoso. Nel punto corrispondente all'imboccatura di Portovesme (Pe5) la cresta dello tsunami raggiunge il valore di +0.34 m s.l.m.

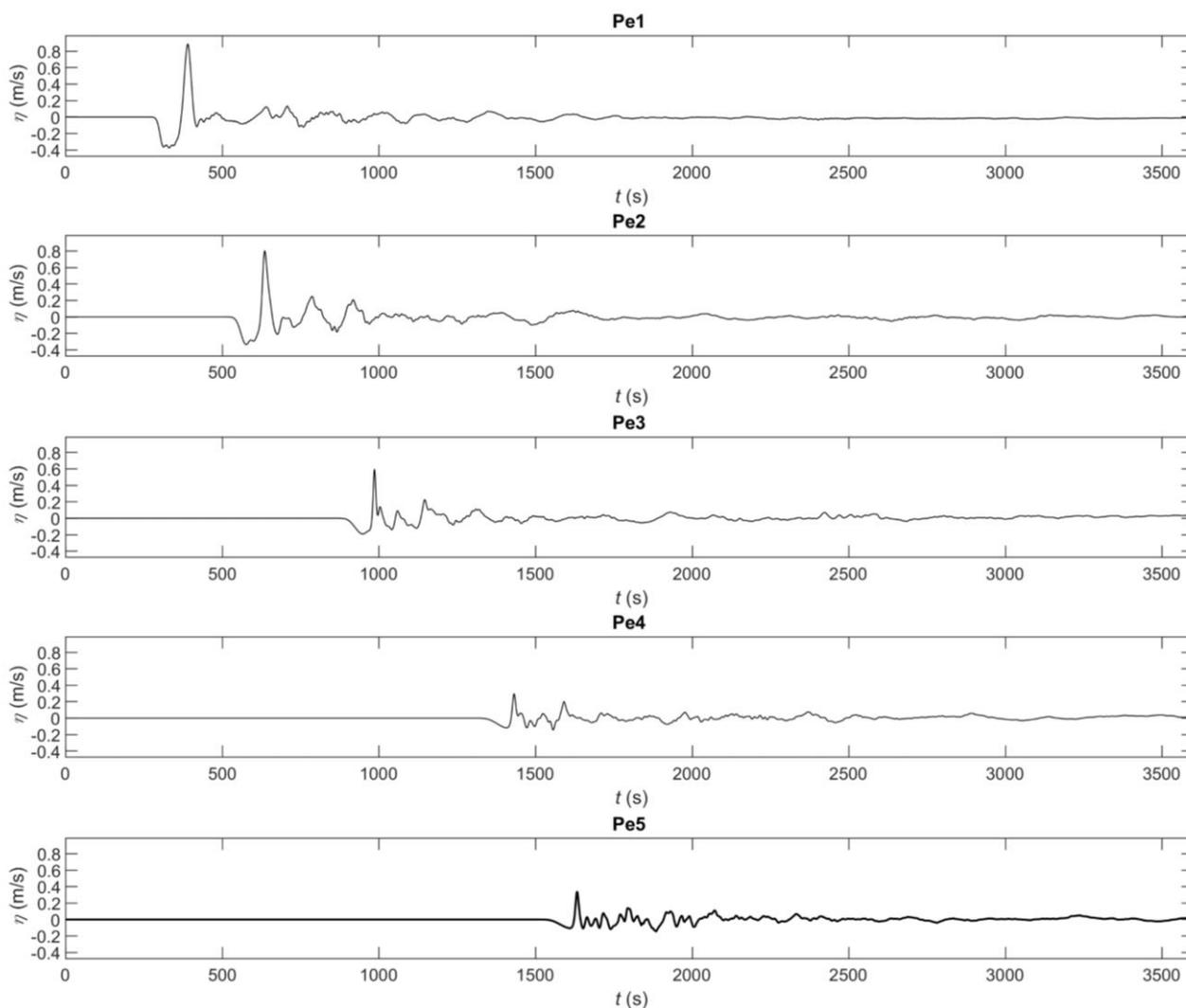


Figura 5-16 Superficie libera nel tempo nei punti esterni a Portovesme per SUD-2.

Committente  	Progettista 	<b>COMMESSA</b> GC/R2004	<b>UNITA'</b> 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente <b>100-ZA-E-10024</b>	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 32 di 68	<b>Rev.</b> 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-008

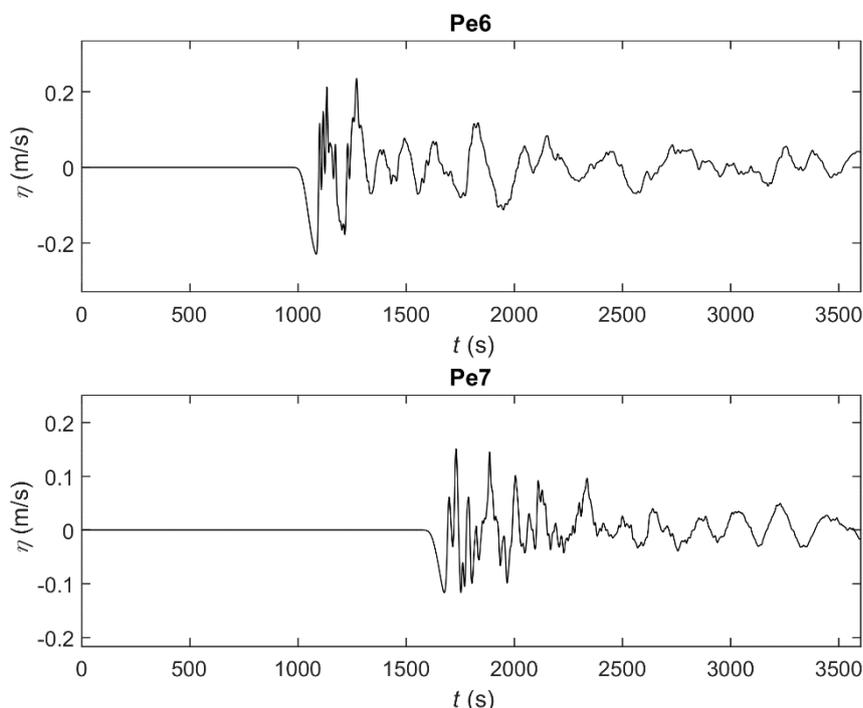


Figura 5-17 Superficie libera nel tempo nei punti posizionati all'imboccatura di Carloforte (Pe6) e Portoscuso (Pe7) per SUD-2.

La variazione superficie libera rispetto al livello medio marino lungo la banchina EST è mostrata in Figura 5-18 dove i valori massimi e minimi raggiungono all'incirca  $\pm 0.20$  m s.l.m. come per SUD-1 ma si registrano massimi principalmente nel punto P1 con valori generalmente più bassi nei punti P2 e P3.

Infine in Figura 5-19, Figura 5-20 e Figura 5-21 sono mostrate le velocità rispettivamente in corrispondenza dei punti P1, P2 e P3. Nel primo pannello è sempre mostrato il modulo della velocità mentre nel secondo e terzo pannello sono riportate le componenti della velocità lungo la direzione parallela e perpendicolare alla banchina EST.

Le velocità risultano leggermente più elevate per SUD-2 rispetto a SUD-1 con un picco del modulo della velocità registrato in P1 pari a circa 0.4 m/s intorno ai 2200 s. Picchi di 0.1 m/s e 0.2 m/s sono stati registrati rispettivamente in P2 e in P3.

Committente  	Progettista 	<b>COMMESSA</b> GC/R2004	<b>UNITA'</b> 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente <b>100-ZA-E-10024</b>	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 33 di 68	<b>Rev.</b> 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-008

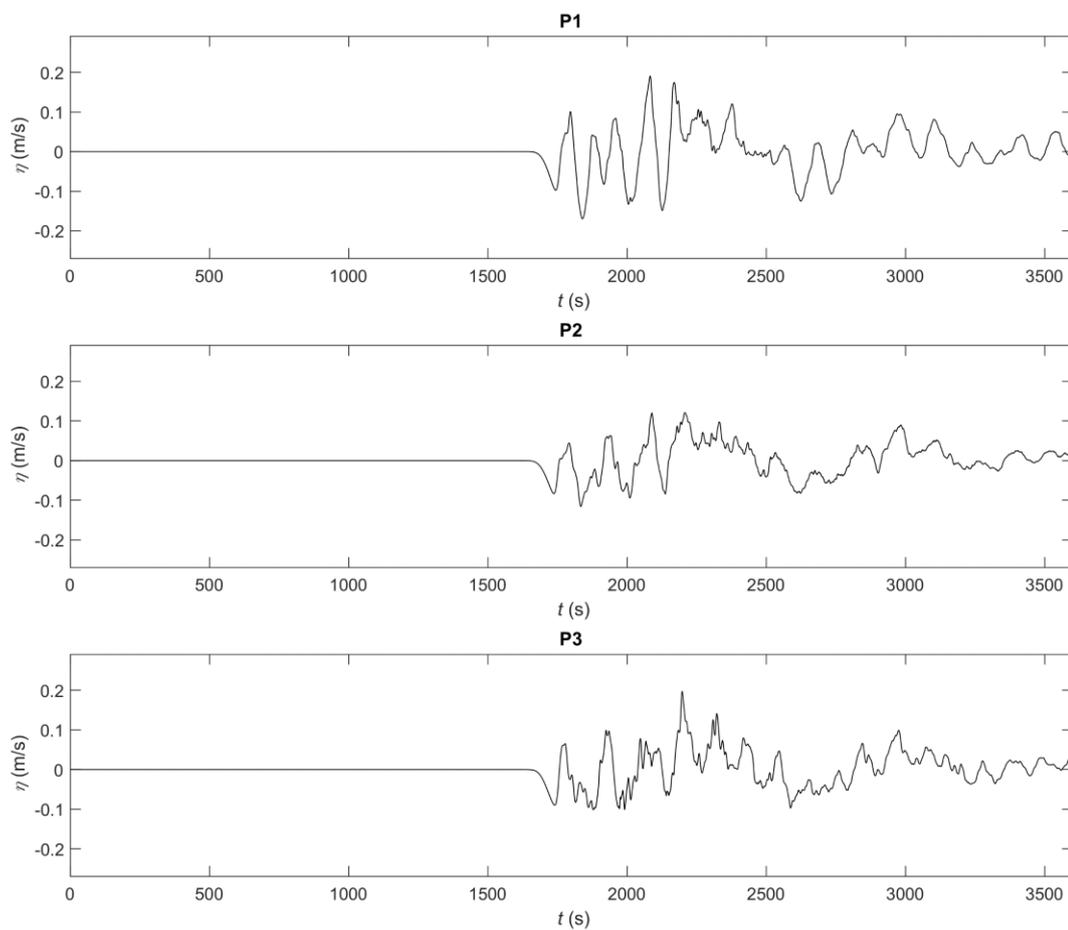


Figura 5-18 Superficie libera nel tempo per i punti posizionati lungo la banchina EST per SUD-2.

Committente 	Progettista 	<b>COMMESSA</b> GC/R2004	<b>UNITA'</b> 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente <b>100-ZA-E-10024</b>	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 34 di 68	<b>Rev.</b> 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-008

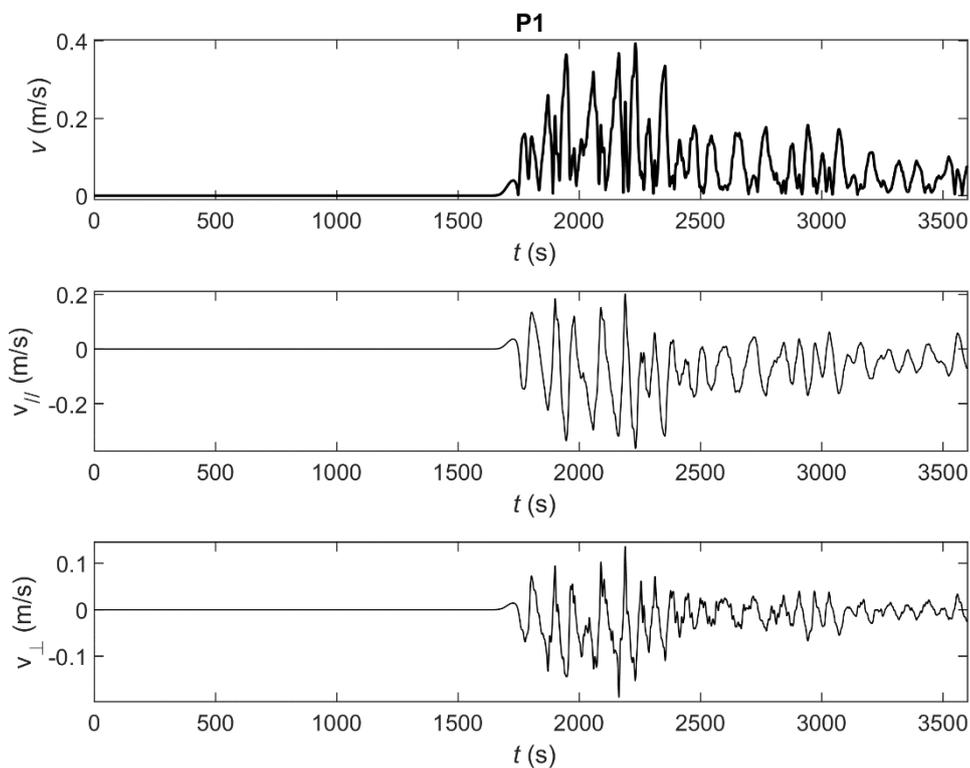


Figura 5-19 Velocità nel punto P1 per SUD-2.

Committente  	Progettista 	<b>COMMESSA</b> GC/R2004	<b>UNITA'</b> 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente <b>100-ZA-E-10024</b>	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 35 di 68	<b>Rev.</b> 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-008

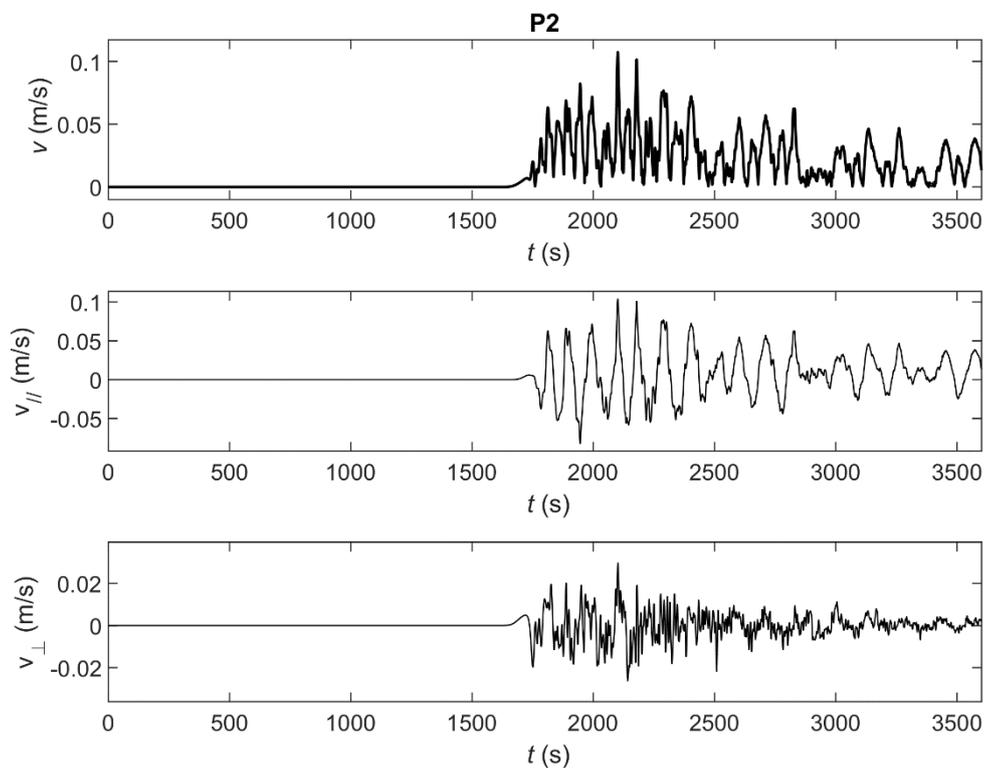


Figura 5-20 Velocità nel punto P2 per SUD-2.

Committente 	Progettista 	<b>COMMESSA</b> GC/R2004	<b>UNITA'</b> 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente <b>100-ZA-E-10024</b>	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 36 di 68	<b>Rev.</b> 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-008

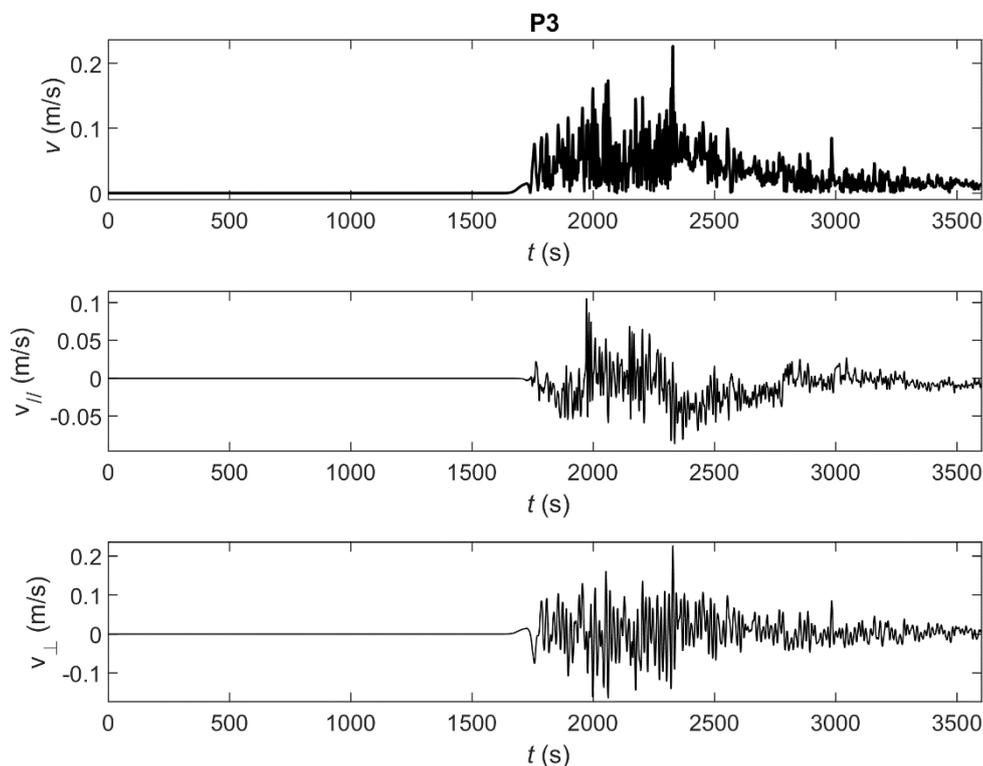


Figura 5-21 Velocità nel punto P3 per SUD-2.

#### 4.2.3 Risultati tsunami SUD-3

Infine, in Figura 5-22 e Figura 5-23 è mostrata la propagazione dello tsunami per lo scenario SUD-3. Questo maremoto ha le caratteristiche di un'onda solitaria e rappresenta ogni possibile tsunami con periodo maggiore di 800 s in corrispondenza della isobata -50 m. Nonostante l'assenza di un cavo la propagazione e i fenomeni che entrano in gioco sono simili rispetto a quelli descritti per SUD-1 e SUD-2. In Figura 5-24 è mostrato l'istante di tempo in cui la superficie libera fa registrare il suo massimo lungo la banchina EST. Anche SUD-3 fa registrare valori dell'oscillazione del livello simili lungo tutta la lunghezza della banchina.

Committente 	Progettista 	<b>COMMESSA</b> GC/R2004	<b>UNITA'</b> 001
	Località <b>PORTOVESME (SU)</b>	Riferimento Committente <b>100-ZA-E-10024</b>	
	Progetto / Impianto <b>TERMINALE DI PORTOVESME</b>	Pag. 37 di 68	<b>Rev.</b> 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-008

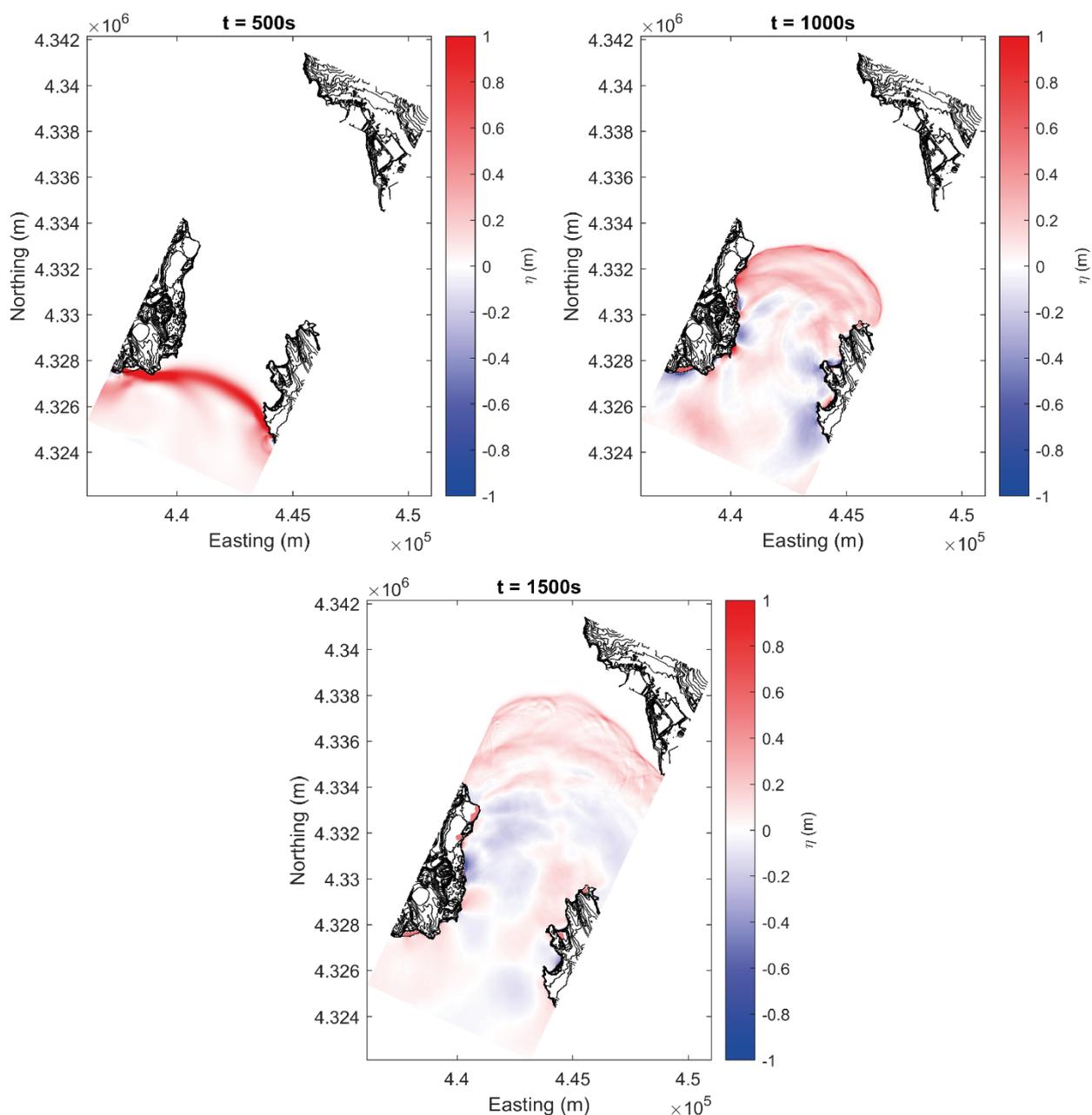


Figura 5-22 Propagazione di SUD-3 nell'intera griglia di calcolo a tre diversi istanti nel tempo.

Committente 	Progettista 	<b>COMMESSA</b> GC/R2004	<b>UNITA'</b> 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente <b>100-ZA-E-10024</b>	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 38 di 68	<b>Rev.</b> 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-008

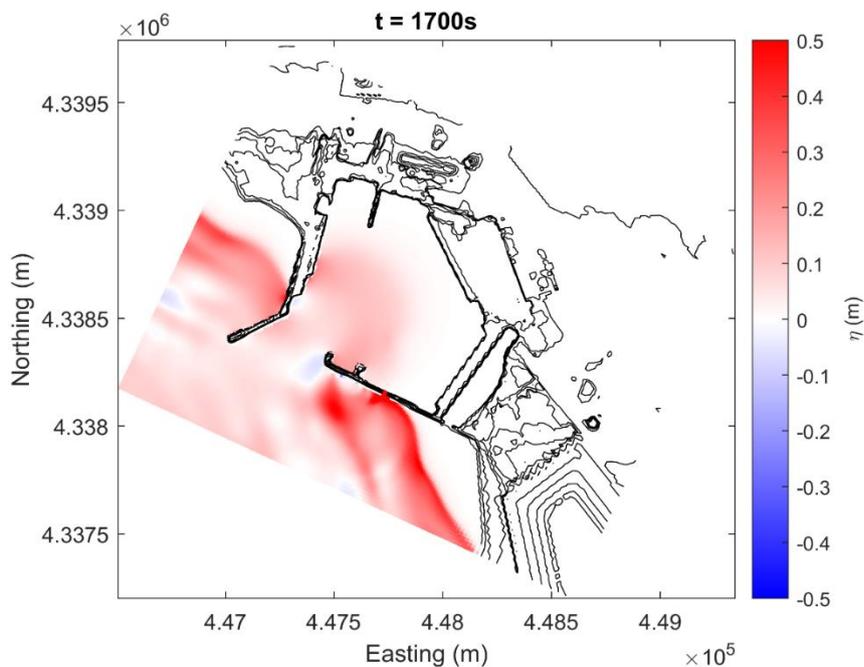


Figura 5-23 Propagazione di SUD-3 per  $t=1700$  s nell'area interna portuale.

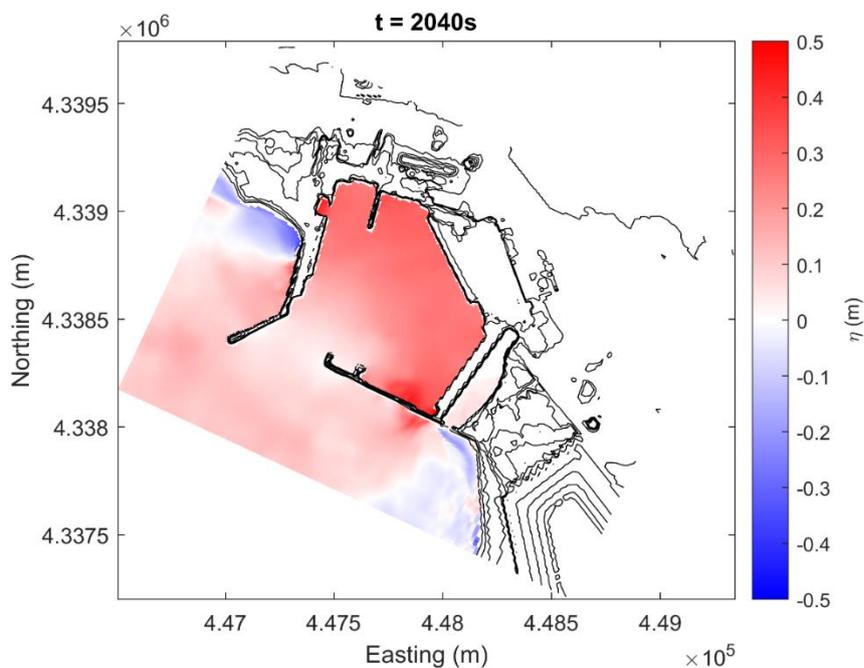


Figura 5-24 Propagazione di SUD-3 durante il massimo valore di superficie libera registrato nei punti P1, P2 e P3.

Committente 	Progettista 	<b>COMMESSA</b> GC/R2004	<b>UNITA'</b> 001
	Località <b>PORTOVESME (SU)</b>	Riferimento Committente <b>100-ZA-E-10024</b>	
	Progetto / Impianto <b>TERMINALE DI PORTOVESME</b>	Pag. 39 di 68	<b>Rev.</b> 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-008

In Figura 5-25 e in Figura 5-26 è mostrata sempre per lo scenario SUD 3 la variazione della superficie libera rispetto al livello medio marino nel tempo nei punti definiti in Figura 5-1. A valle del passaggio tra le isole l'altezza d'onda dello tsunami tende a ridursi per gli stessi fenomeni visti per SUD-1 e SUD-2 ma con effetti meno evidenti e mantenendo la caratteristica di un'onda solitaria. Infatti, nel punto corrispondente all'imboccatura di Portovesme (Pe5), la cresta dello tsunami raggiunge il valore più alto tra i tre scenari analizzati (SUD-1, SUD-2 e SUD-3) con un valore di +0.39 m s.l.m.

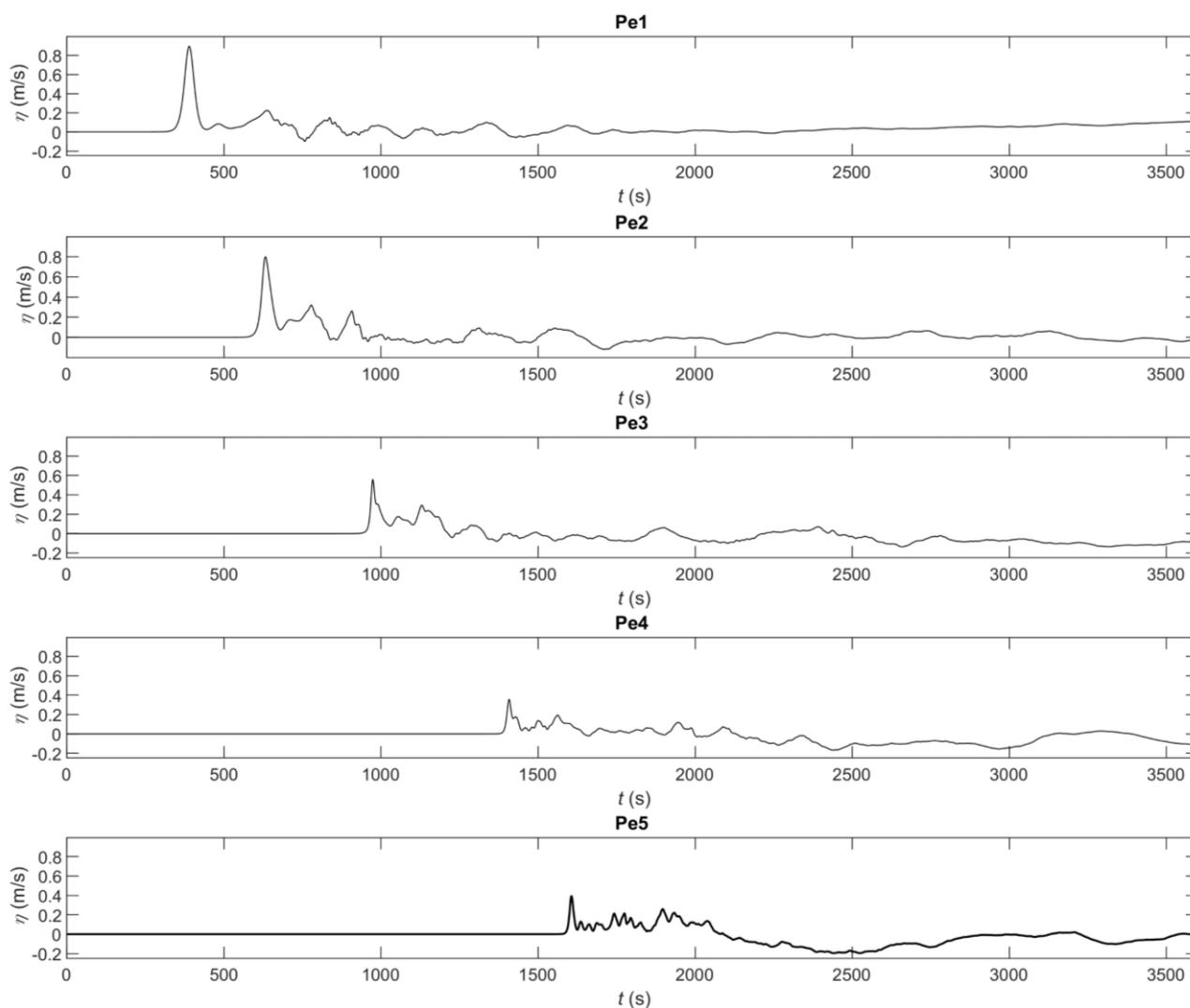


Figura 5-25 Superficie libera nel tempo nei punti esterni a Portovesme per SUD-3.

Committente 	Progettista 	<b>COMMESSA</b> GC/R2004	<b>UNITA'</b> 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente <b>100-ZA-E-10024</b>	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 40 di 68	<b>Rev.</b> 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-008

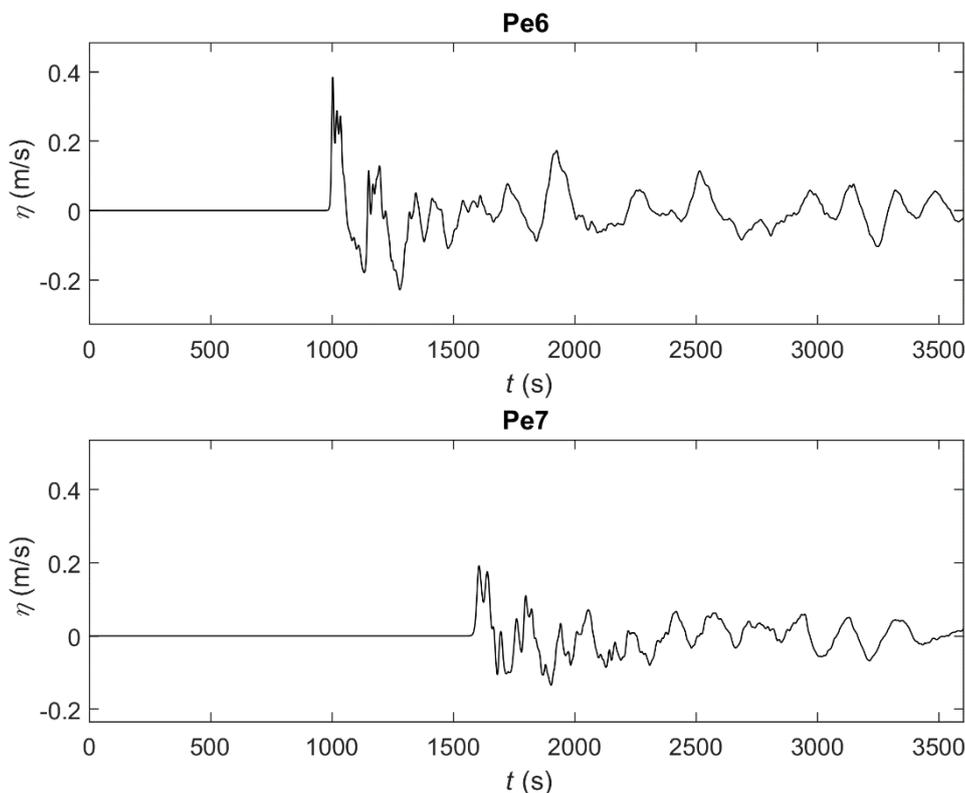


Figura 5-26 Superficie libera nel tempo nei punti posizionati all'imboccatura di Carloforte (Pe6) e Portoscuso (Pe7) per SUD-3.

Nella Figura 5-27 è riportata la variazione della superficie libera rispetto al livello medio marino lungo la banchina EST.

L'onda solitaria relativa allo scenario SUD-3, come era prevedibile, produce rispetto agli altri scenari, le massime oscillazioni nel porto con valori massimi e minimi che raggiungono all'incirca +0.43 m e -0.45 m s.l.m nel punto P1.

L'analisi spettrale dei tre segnali di livello registrati lungo la banchina (punti P1, P2 e P3) mostra che l'energia è concentrata in corrispondenza del periodo  $T_p = 1000$  s. Questo periodo non corrisponde a nessun periodo proprio del bacino portuale (vedi lo studio sulla risonanza portuale indotta dalle "bound long waves") ed infatti tra l'esterno (punto Pe5) e l'interno del porto (P1, P2 o P3) non si verificano fenomeni di amplificazione. Infine in Figura 5-28, Figura 5-29 e Figura 5-30 sono mostrate le velocità rispettivamente in corrispondenza dei punti P1, P2 e P3. Nel primo pannello di Figura 5-28, Figura 5-29 e Figura 5-30 è mostrato il modulo della velocità, mentre nel secondo e terzo pannello sono riportate le componenti della velocità lungo la direzione parallela e perpendicolare alla banchina EST. Le velocità risultano simili con le precedenti due condizioni. Il massimo valore del modulo della velocità in P1 è risultato  $0.35$  m/s che si verifica all'incirca all'istante  $t = 2020$  s.

Committente 	Progettista 	<b>COMMESSA</b> GC/R2004	<b>UNITA'</b> 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente <b>100-ZA-E-10024</b>	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 41 di 68	<b>Rev.</b> 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-008

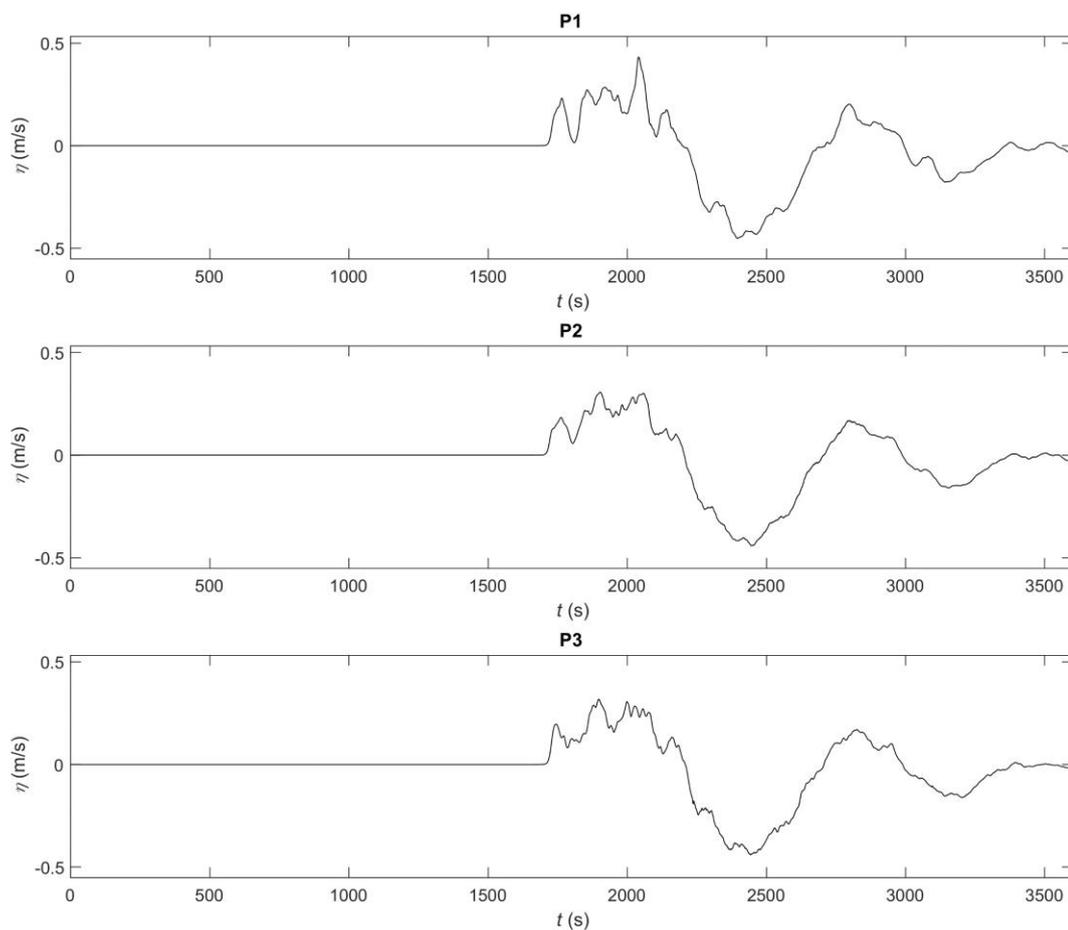


Figura 5-27 Superficie libera nel tempo per i punti posizionati lungo la banchina EST per SUD-3.

Committente 	Progettista 	<b>COMMESSA</b> GC/R2004	<b>UNITA'</b> 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente <b>100-ZA-E-10024</b>	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 42 di 68	<b>Rev.</b> 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-008

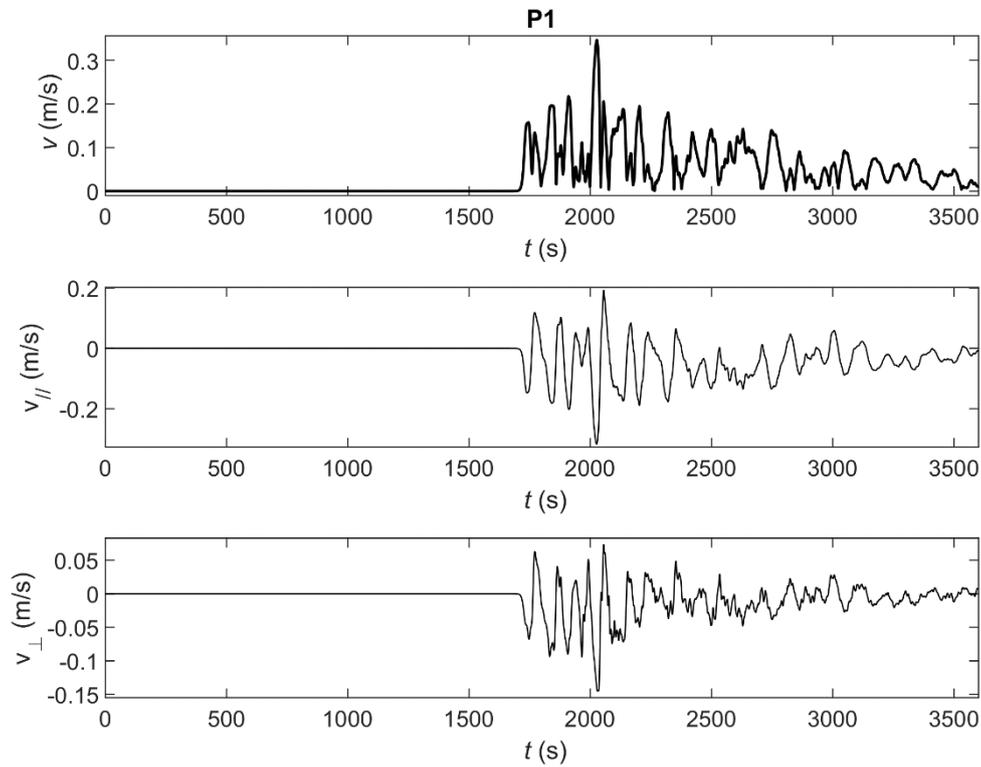


Figura 5-28 Velocità nel punto P1 per SUD-3.

Committente  	Progettista 	<b>COMMESSA</b> GC/R2004	<b>UNITA'</b> 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente <b>100-ZA-E-10024</b>	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 43 di 68	<b>Rev.</b> 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-008

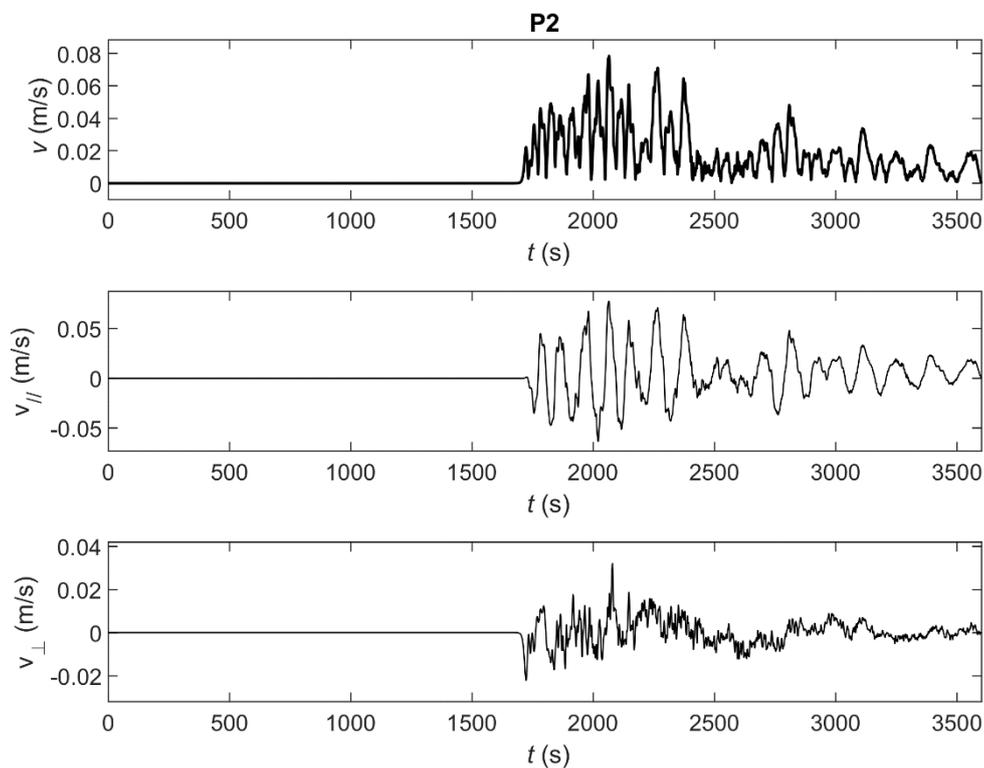


Figura 5-29 Velocità nel punto P2 per SUD-3.

Committente  	Progettista 	<b>COMMESSA</b> GC/R2004	<b>UNITA'</b> 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente <b>100-ZA-E-10024</b>	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 44 di 68	<b>Rev.</b> 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-008

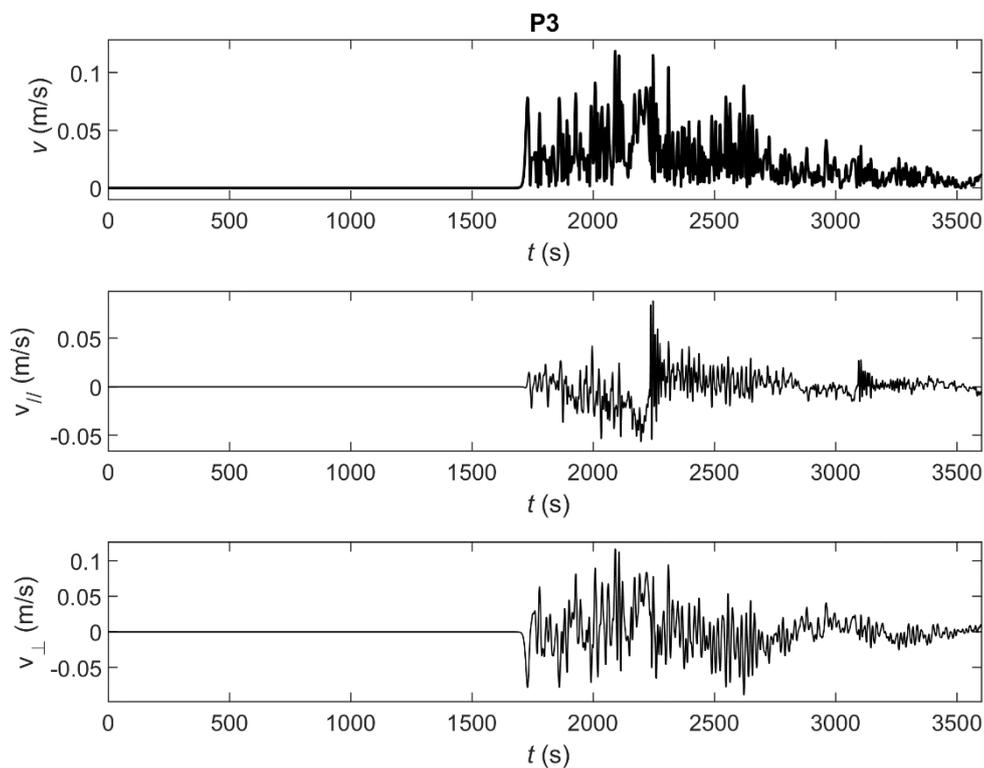


Figura 5-30 Velocità nel punto P3 per SUD-3.

Committente 	Progettista 	<b>COMMESSA</b> GC/R2004	<b>UNITA'</b> 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente <b>100-ZA-E-10024</b>	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 45 di 68	<b>Rev.</b> 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-008

#### 4.3 Risultati tsunami proveniente da TSUMAPS-NORD

Di seguito sono mostrati i risultati dei tre scenari NORD-1, NORD-2 e NORD-3 relativi al maremoto proveniente da Nord-Ovest.

Questo maremoto è caratterizzato da una massima altezza di inondazione (MIH) in corrispondenza dell'isobata -50,0 m inferiore rispetto a quella relativa al maremoto proveniente da Sud-Ovest. Tuttavia, poichè la distanza compresa tra la batimetrica -50 m e l'imboccatura di Portovesme risulta circa 2.5 volte inferiore rispetto a quella relativa al maremoto proveniente da Sud-Ovest, è lecito aspettarsi nel porto effetti del maremoto comparabili o maggiori rispetto al maremoto proveniente da Sud-Ovest.

Per ogni scenario sono presentate prima delle immagini che mostrano in diversi istanti di tempo l'evoluzione del maremoto nel dominio di calcolo. Successivamente viene mostrata la variazione della superficie libera rispetto al livello medio marino in corrispondenza dei punti esterni ed interni a Portovesme riportati nella Figura 5-2 e nell'Figura 5-3. Infine viene riportata la velocità calcolata lungo la banchina Est (punti P1, P2 e P3) in modulo ( $v$ ) e rispetto alle due componenti valutate in direzione ortogonale ( $v_{\perp}$ ) e parallela ( $v_{//}$ ) alla stessa banchina.

Committente 	Progettista 	<b>COMMESSA</b> GC/R2004	<b>UNITA'</b> 001
	Località <b>PORTOVESME (SU)</b>	Riferimento Committente <b>100-ZA-E-10024</b>	
	Progetto / Impianto <b>TERMINALE DI PORTOVESME</b>	Pag. 46 di 68	<b>Rev.</b> 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-008

#### 4.3.1 Risultati tsunami NORD-1

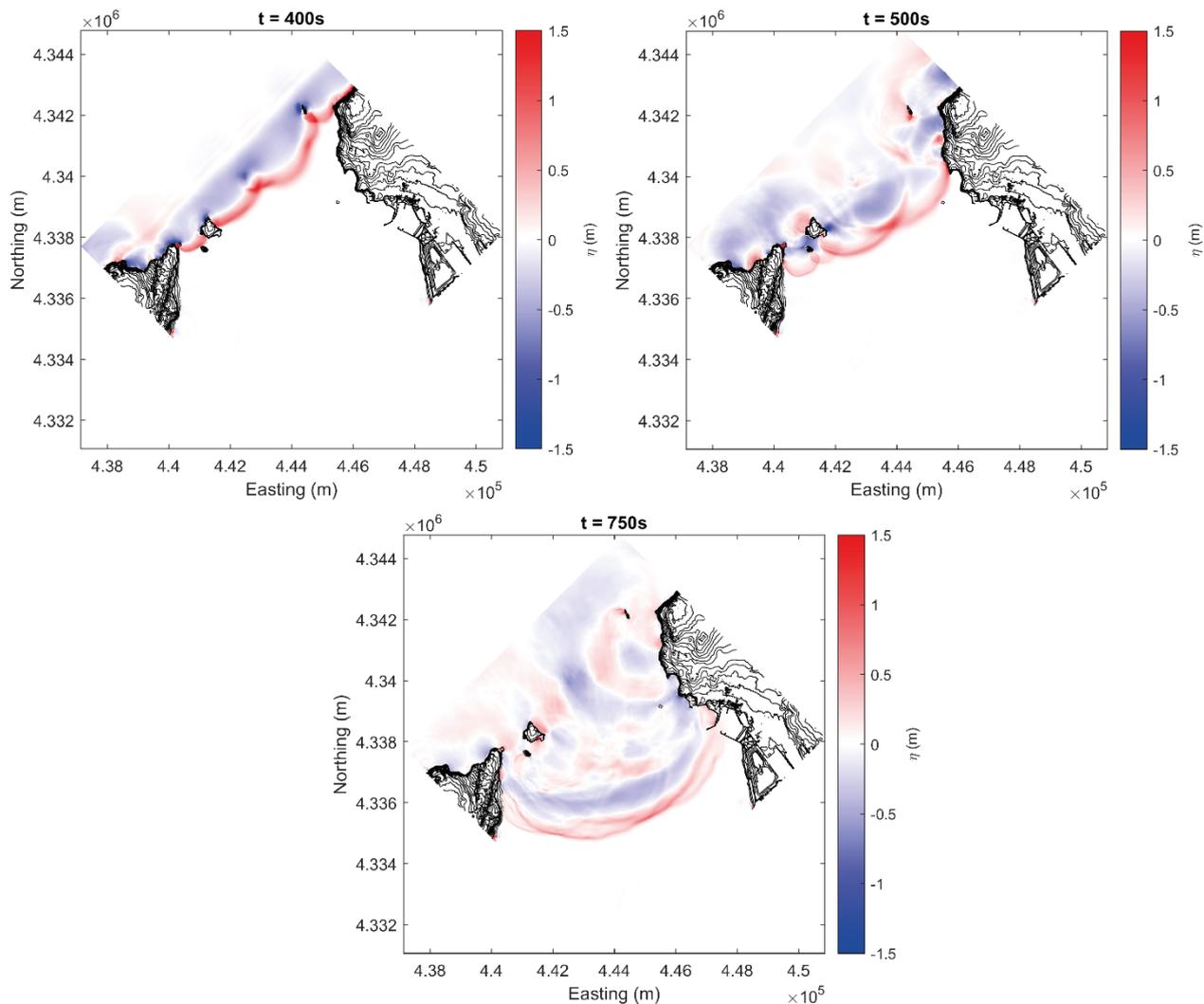


Figura 5-31 Propagazione di NORD-1 nell'intera griglia di calcolo a tre diversi istanti nel tempo.

Committente 	Progettista 	<b>COMMESSA</b> GC/R2004	<b>UNITA'</b> 001
	Località <b>PORTOVESME (SU)</b>	Riferimento Committente <b>100-ZA-E-10024</b>	
	Progetto / Impianto <b>TERMINALE DI PORTOVESME</b>	Pag. 47 di 68	<b>Rev.</b> 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-008

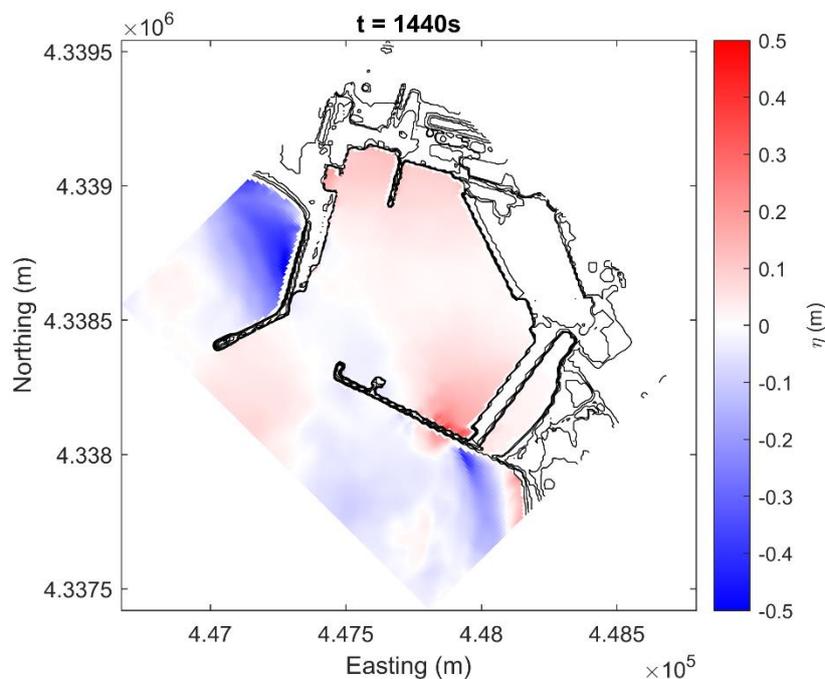


Figura 5-32 Propagazione di NORD-1 durante il massimo valore di superficie libera registrato nei punti P1, P2 e P3.

Con riferimento allo scenario SUD-1 (onda cnoidale preceduta dalla cresta) nella Figura 5-31 è mostrata l'evoluzione spazio temporale del maremoto il quale è caratterizzato da uno shoaling iniziale per poi essere soggetto alla dispersione circonferenziale dell'energia fino a raggiungere Portovesme.

In Figura 5-32 è mostrato l'istante di tempo in cui la superficie libera da luogo al suo massimo lungo la banchina EST. In questo scenario si verificano valori massimi alle estremità NO e SE del porto e minimi al centro.

In Figura 5-33 e in Figura 5-34 è invece mostrata la variazione della superficie libera nel tempo nei punti riportati nella Figura 5-2 posti all'esterno del porto.

Si può chiaramente notare come lo shoaling, causato dall'abbassamento dei fondali giochi inizialmente un ruolo fondamentale incrementando l'altezza della prima onda (vedi propagazione tra i punti Pe1 e Pe2).

Successivamente invece l'altezza d'onda del maremoto tende a ridursi a causa della dispersione circonferenziale e in frequenza delle onde e dell'attrito sul fondo causato dai bassi fondali. Anche in questo caso non si verifica il frangimento delle onde. In Pe6, corrispondente all'imboccatura di Portovesme, la cresta del maremoto raggiunge un valore di circa +0.21 m s.l.m.

Committente 	Progettista 	<b>COMMESSA</b> GC/R2004	<b>UNITA'</b> 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente <b>100-ZA-E-10024</b>	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 48 di 68	<b>Rev.</b> 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-008

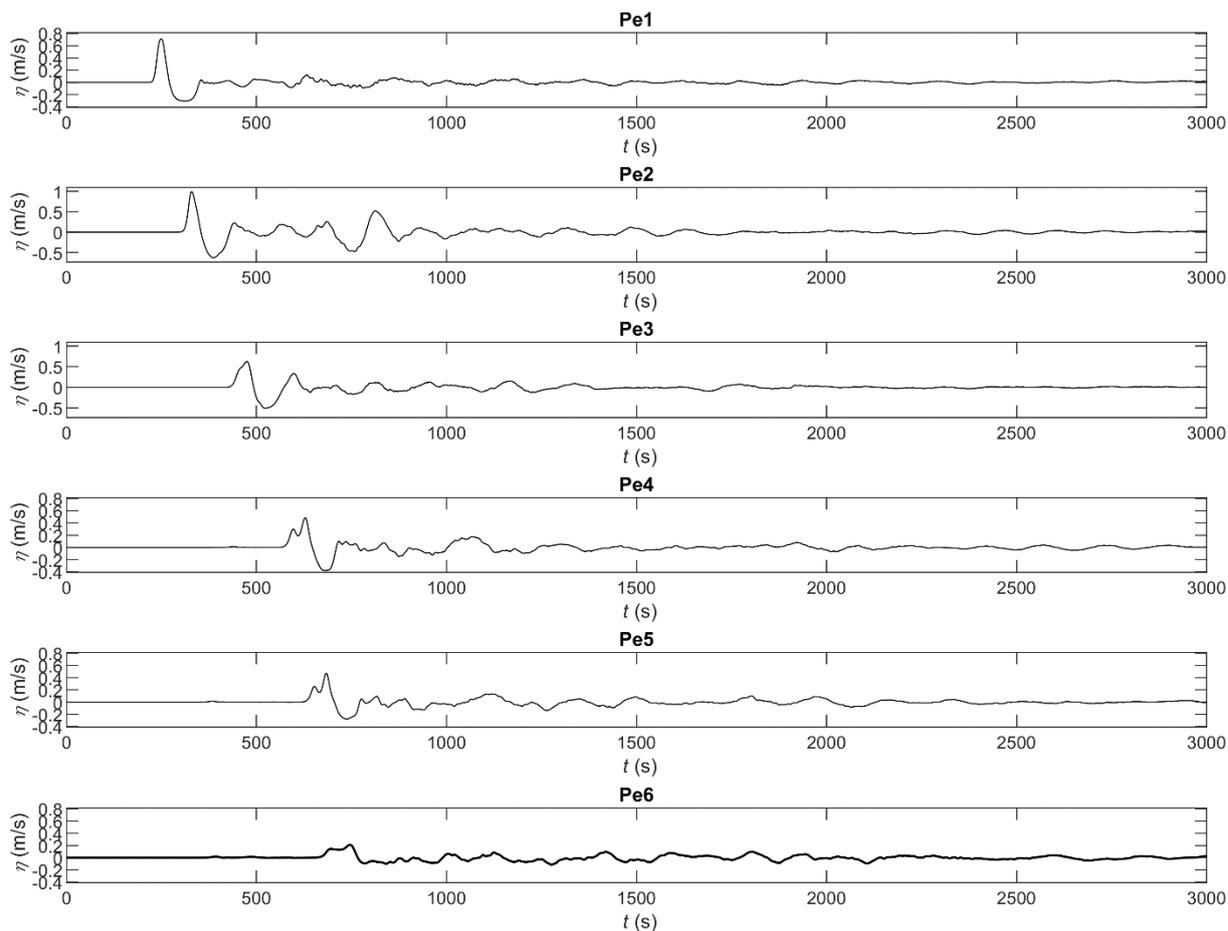


Figura 5-33 Superficie libera nel tempo nei punti esterni a Portovesme per NORD-1.

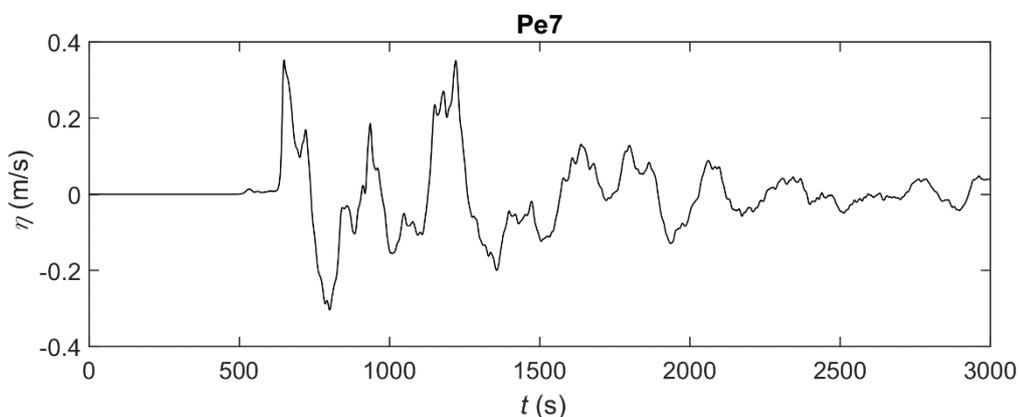


Figura 5-34 Superficie libera nel tempo nei punti posizionati all'imboccatura di Portoscuso (Pe7) per NORD-1.

Committente  	Progettista 	<b>COMMESSA</b> GC/R2004	<b>UNITA'</b> 001
	Località <b>PORTOVESME (SU)</b>	Riferimento Committente <b>100-ZA-E-10024</b>	
	Progetto / Impianto <b>TERMINALE DI PORTOVESME</b>	Pag. 49 di 68	<b>Rev.</b> 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-008

Nella Figura 5-35 è mostrata la variazione della superficie libera rispetto al livello medio marino lungo la banchina EST dove i valori massimi e minimi raggiungono all'incirca  $\pm 0.20$  m s.l.m e non sembrano istaurarsi oscillazioni di lungo periodo significative nel bacino portuale. Infine in Figura 5-36, Figura 5-37 e Figura 5-38 sono mostrate le velocità rispettivamente in corrispondenza dei punti P1, P2 e P3. Nel primo pannello delle figure è mostrato il modulo della velocità, mentre nel secondo e terzo pannello sono mostrate le componenti della velocità lungo la direzione parallela e ortogonale alla banchina EST.

Le velocità risultano maggiori rispetto a quelle registrate per gli scenari del maremoto proveniente da Sud-Ovest (TSUMAPS-SUD). Nel punto P1 si raggiunge la velocità di circa 0.4 m/s contro il valore 0.33 m/s registrato per lo scenario SUD-1.

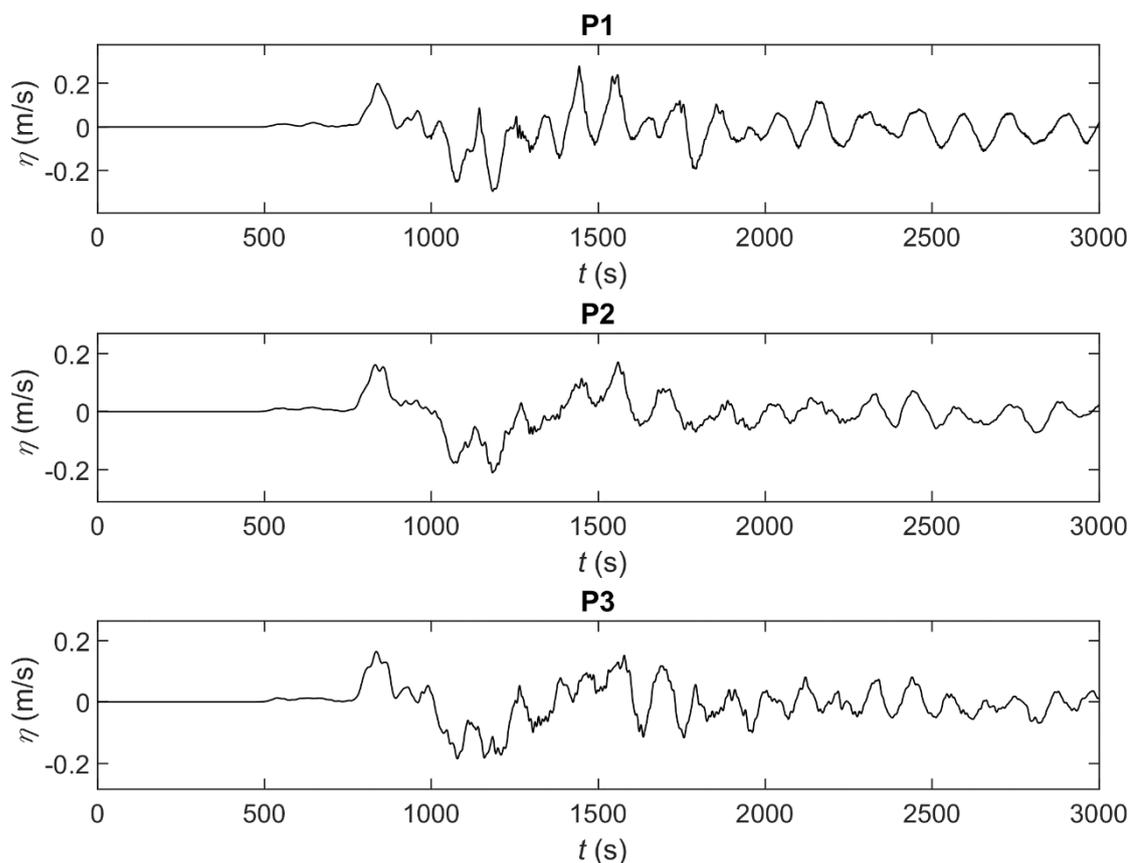


Figura 5-35 Superficie libera nel tempo per i punti posizionati lungo la banchina EST per NORD-1.

Committente  	Progettista 	<b>COMMESSA</b> GC/R2004	<b>UNITA'</b> 001
	Località <b>PORTOVESME (SU)</b>	Riferimento Committente <b>100-ZA-E-10024</b>	
	Progetto / Impianto <b>TERMINALE DI PORTOVESME</b>	Pag. 50 di 68	<b>Rev.</b> 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-008

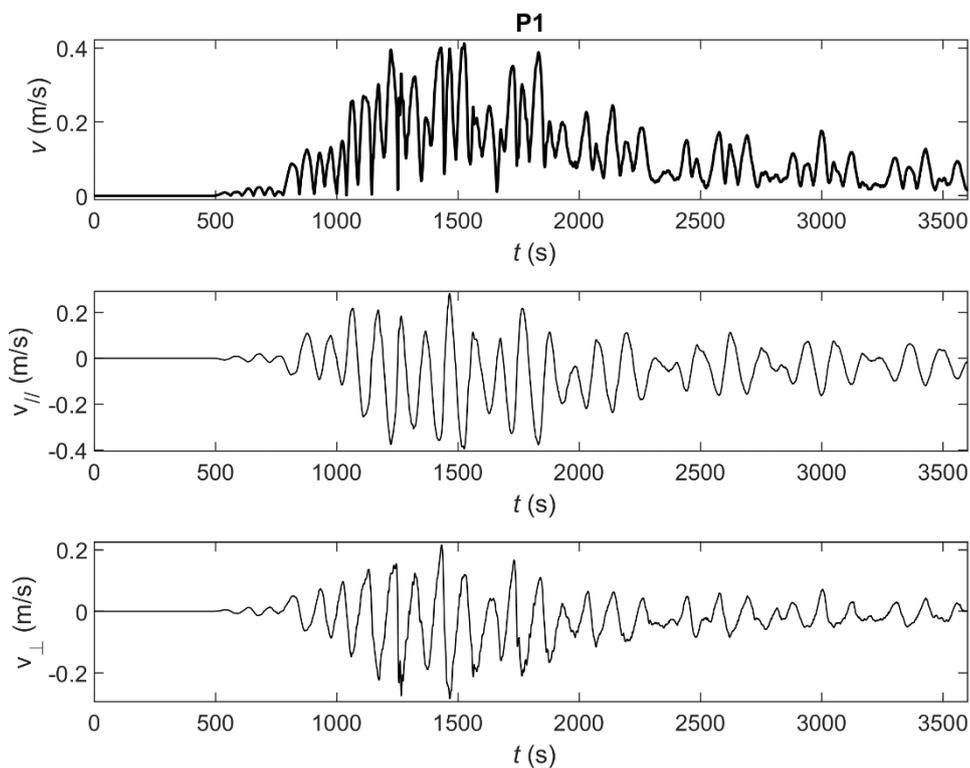


Figura 5-36 Velocità nel punto P1 per NORD-1.

Committente 	Progettista 	<b>COMMESSA</b> GC/R2004	<b>UNITA'</b> 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente <b>100-ZA-E-10024</b>	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 51 di 68	<b>Rev.</b> 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-008

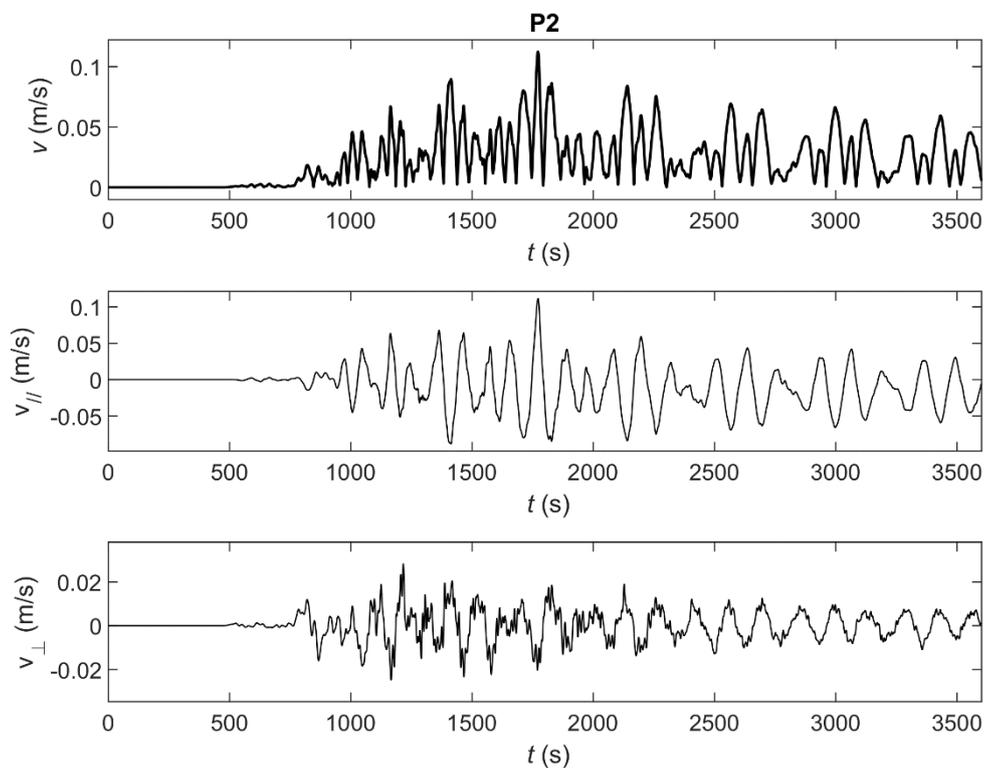


Figura 5-37 Velocità nel punto P2 per NORD-1.

Committente 	Progettista 	<b>COMMESSA</b> GC/R2004	<b>UNITA'</b> 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente <b>100-ZA-E-10024</b>	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 52 di 68	<b>Rev.</b> 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-008

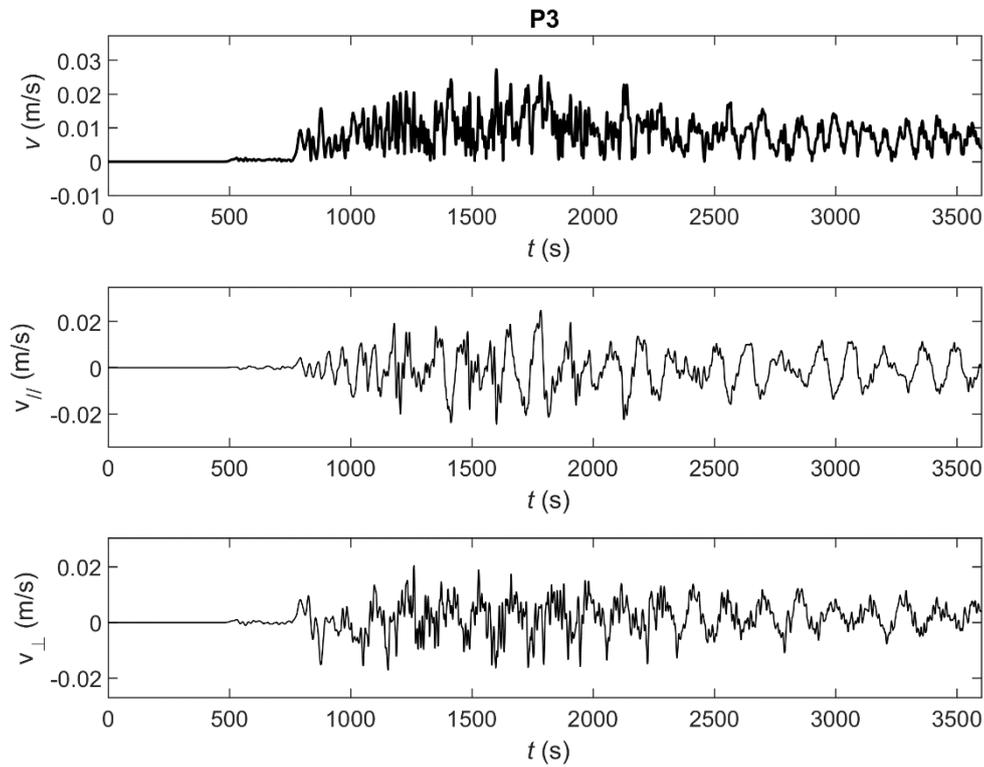


Figura 5-38 Velocità nel punto P3 per NORD-1.

Committente 	Progettista 	<b>COMMESSA</b> GC/R2004	<b>UNITA'</b> 001
	Località <b>PORTOVESME (SU)</b>	Riferimento Committente <b>100-ZA-E-10024</b>	
	Progetto / Impianto <b>TERMINALE DI PORTOVESME</b>	Pag. 53 di 68	<b>Rev.</b> 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-008

#### 4.3.2 Risultati tsunami NORD-2

Fenomeni e valori simili a quanto individuato e descritto per lo scenario NORD-1 si riscontano per lo scenario NORD-2, il quale differisce dal precedente scenario solo per la posizione del cavo che precede la cresta dell'onda cnoidale. La principale differenza che si può apprezzare è la inferiore, anche se modesta, variazione della superficie libera osservata all'interno del porto e specificatamente nei punti P1, P2 e P3 di Figura 5-43.

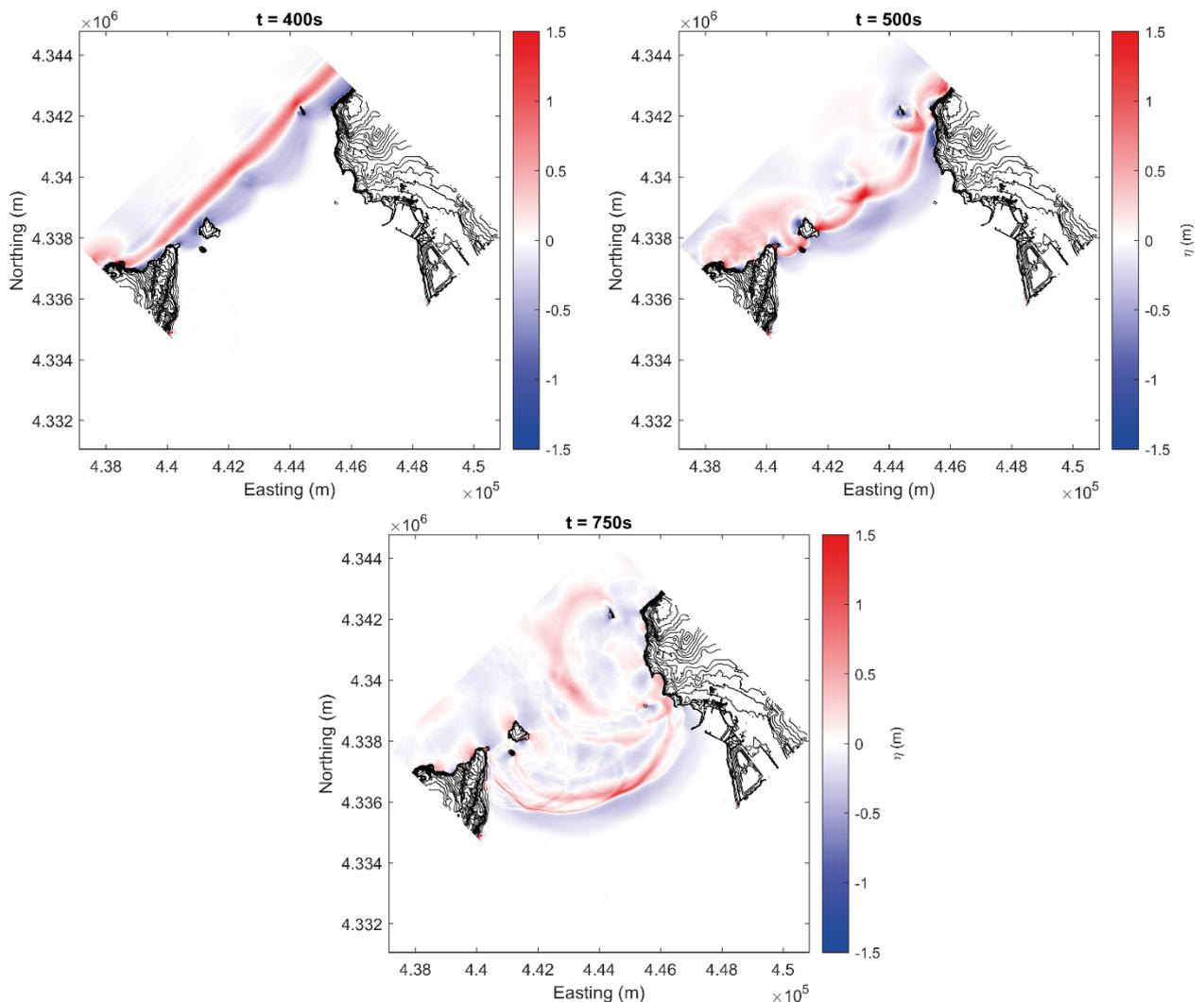


Figura 5-39 Propagazione di NORD-2 nell'intera griglia di calcolo a tre diversi istanti nel tempo.

Committente  	Progettista 	<b>COMMESSA</b> GC/R2004	<b>UNITA'</b> 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente <b>100-ZA-E-10024</b>	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 54 di 68	<b>Rev.</b> 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-008

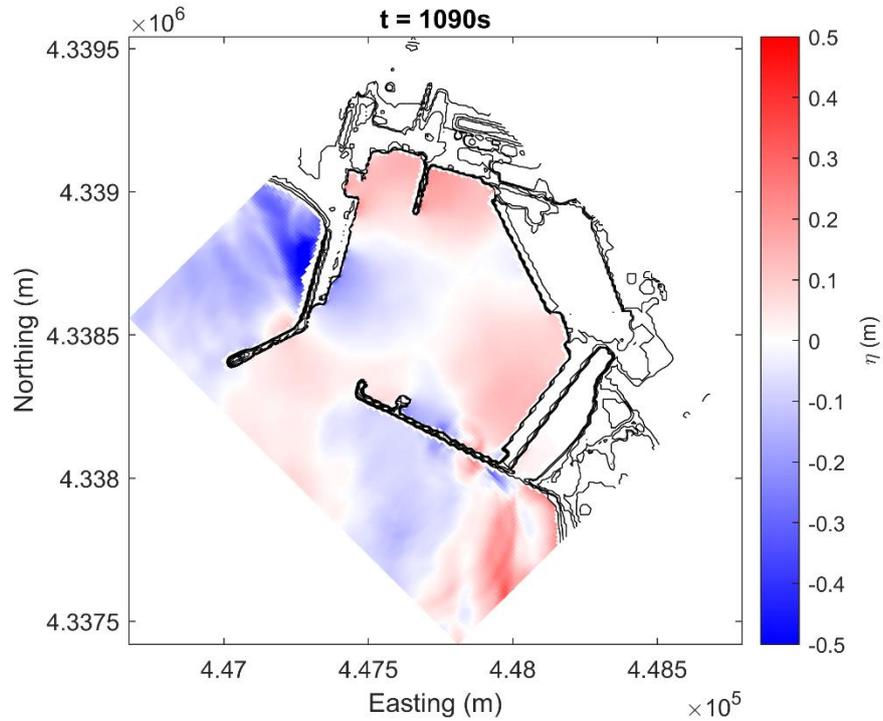


Figura 5-40 Propagazione di NORD-2 durante il massimo valore di superficie libera registrato nei punti P1, P2 e P3.

Committente 	Progettista 	<b>COMMESSA</b> GC/R2004	<b>UNITA'</b> 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente <b>100-ZA-E-10024</b>	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 55 di 68	<b>Rev.</b> 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-008

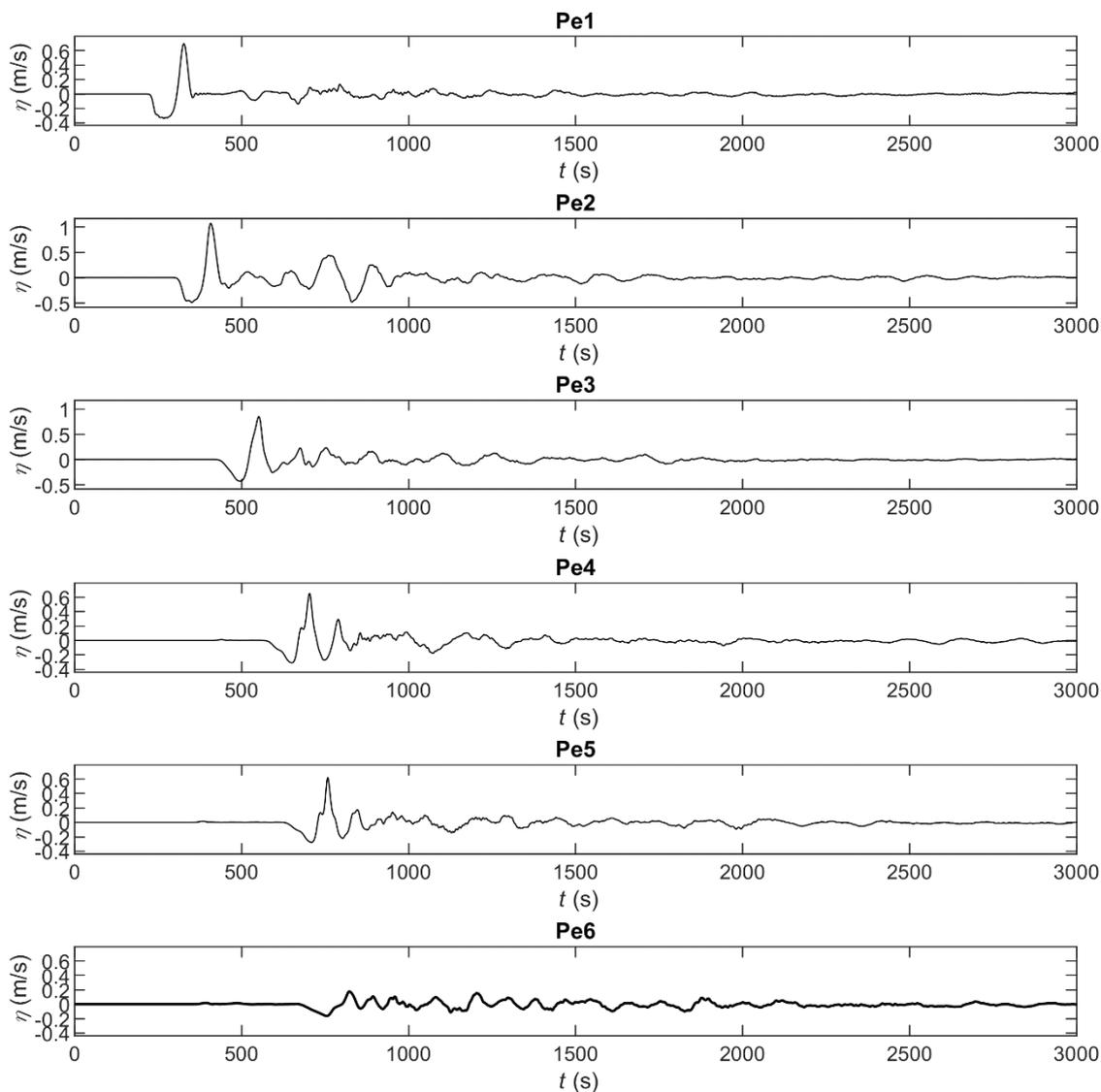


Figura 5-41 Superficie libera nel tempo nei punti esterni a Portovesme per NORD-2.

Committente 	Progettista 	<b>COMMESSA</b> GC/R2004	<b>UNITA'</b> 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente <b>100-ZA-E-10024</b>	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 56 di 68	<b>Rev.</b> 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-008

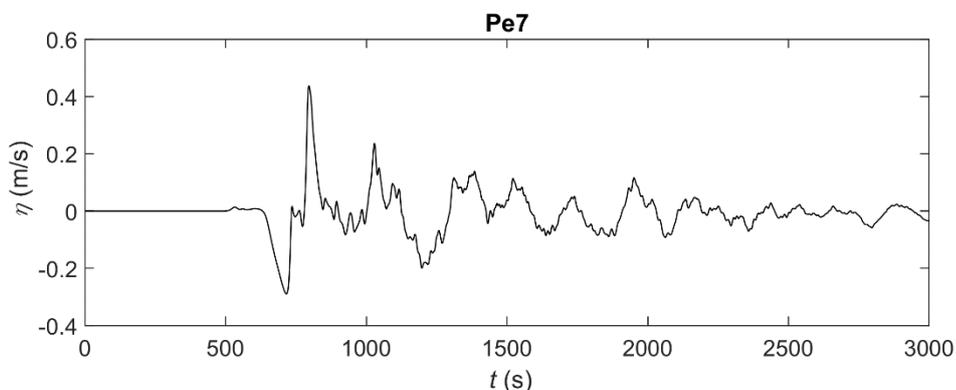


Figura 5-42 Superficie libera nel tempo nei punti posizionati all'imboccatura di Portoscuso (Pe7) per NORD-2.

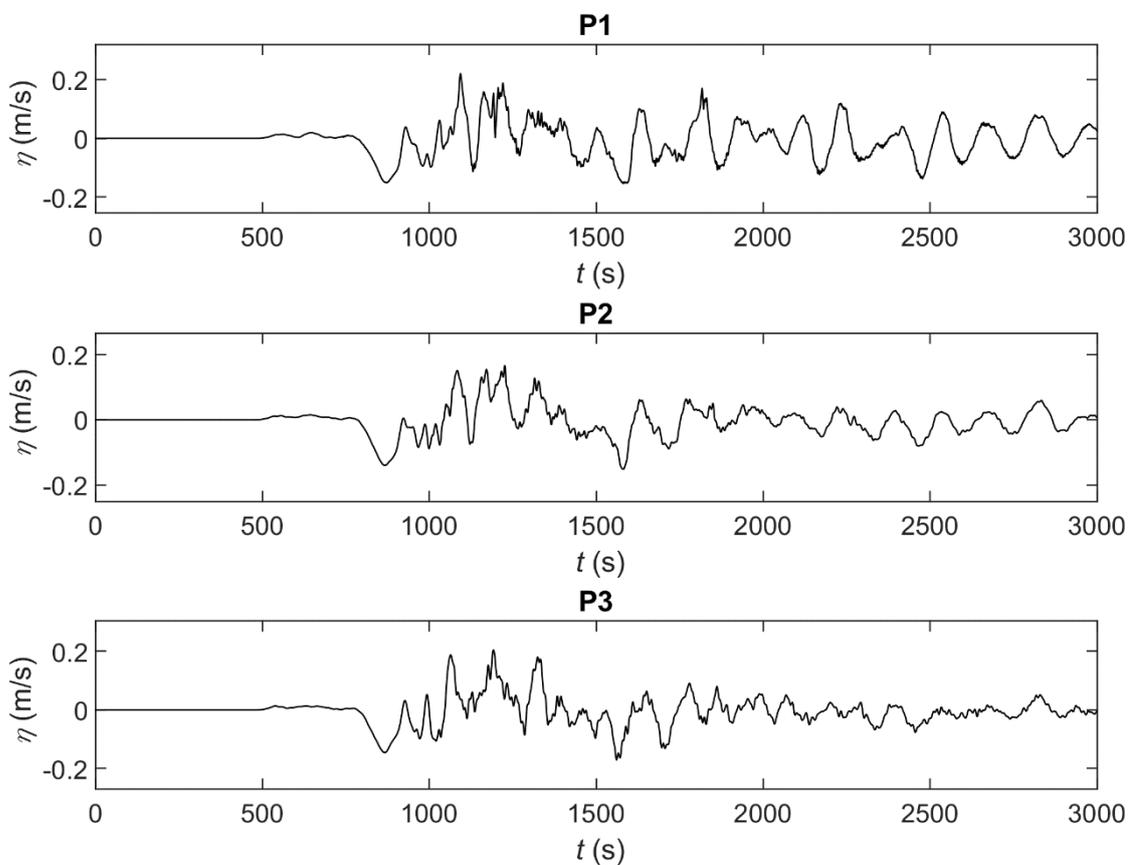


Figura 5-43 Superficie libera nel tempo per i punti posizionati lungo la banchina EST per NORD-2.

Committente 	Progettista 	<b>COMMESSA</b> GC/R2004	<b>UNITA'</b> 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente <b>100-ZA-E-10024</b>	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 57 di 68	<b>Rev.</b> 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-008

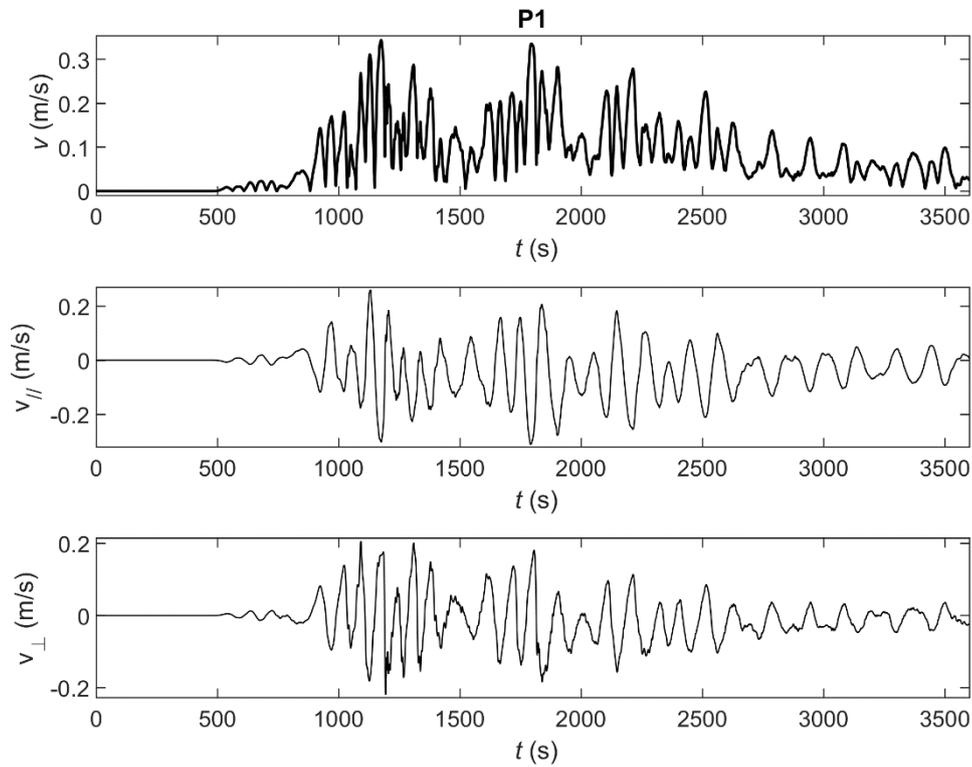


Figura 5-44 Velocità nel punto P1 per NORD-2.

Committente 	Progettista 	<b>COMMESSA</b> GC/R2004	<b>UNITA'</b> 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente <b>100-ZA-E-10024</b>	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 58 di 68	<b>Rev.</b> 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-008

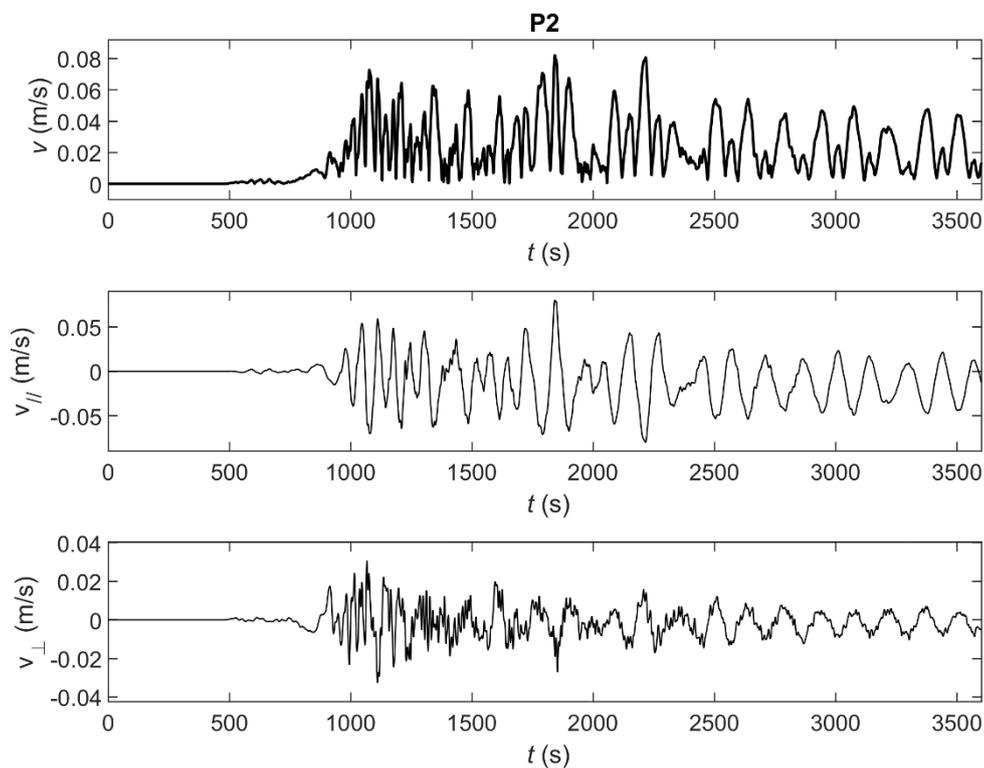


Figura 5-45 Velocità nel punto P2 per NORD-2.

Committente  	Progettista 	<b>COMMESSA</b> GC/R2004	<b>UNITA'</b> 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente <b>100-ZA-E-10024</b>	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 59 di 68	<b>Rev.</b> 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-008

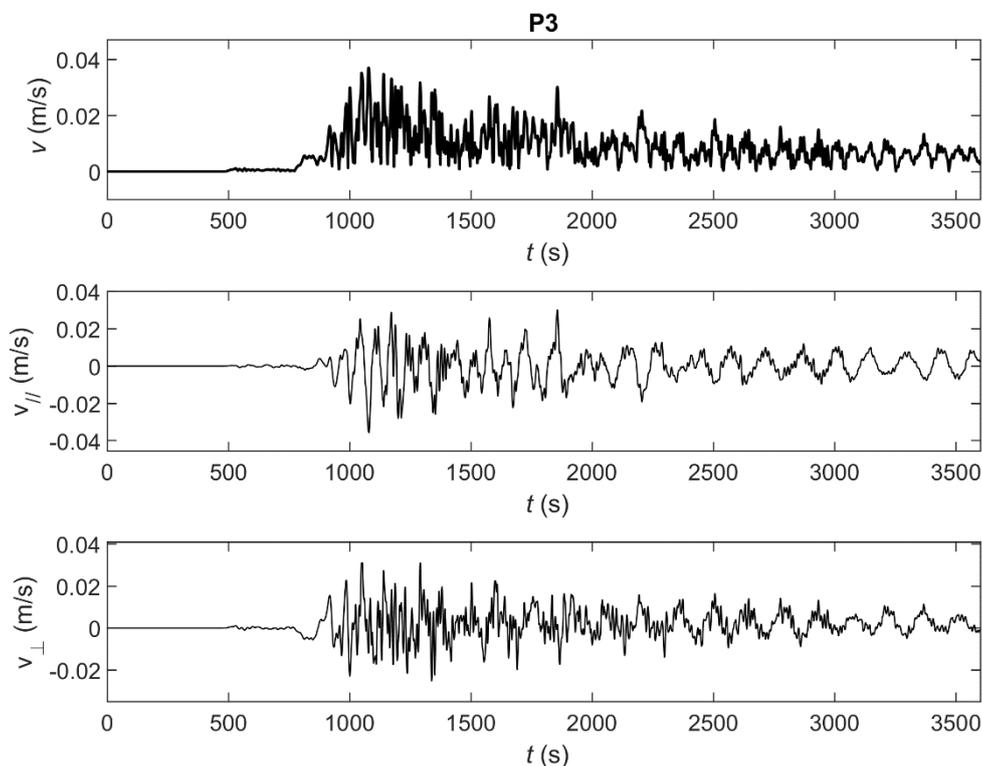


Figura 5-46 Velocità nel punto P3 per NORD-2.

#### 4.3.3 Risultati tsunami NORD-3

Come per lo scenario SUD-3 anche lo scenario NORD-3 risulta il più gravoso a ragione della presenza dell'onda solitaria in generazione per la quale i meccanismi di dispersione in frequenza e ampiezza tendono a bilanciarsi mantenendo gran parte dell'energia dell'onda "confinata" nella prima perturbazione. Ciò risulta chiaramente visibile dalla Figura 5-49.

Committente 	Progettista 	<b>COMMESSA</b> GC/R2004	<b>UNITA'</b> 001
	Località <b>PORTOVESME (SU)</b>	Riferimento Committente <b>100-ZA-E-10024</b>	
	Progetto / Impianto <b>TERMINALE DI PORTOVESME</b>	Pag. 60 di 68	<b>Rev.</b> 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-008

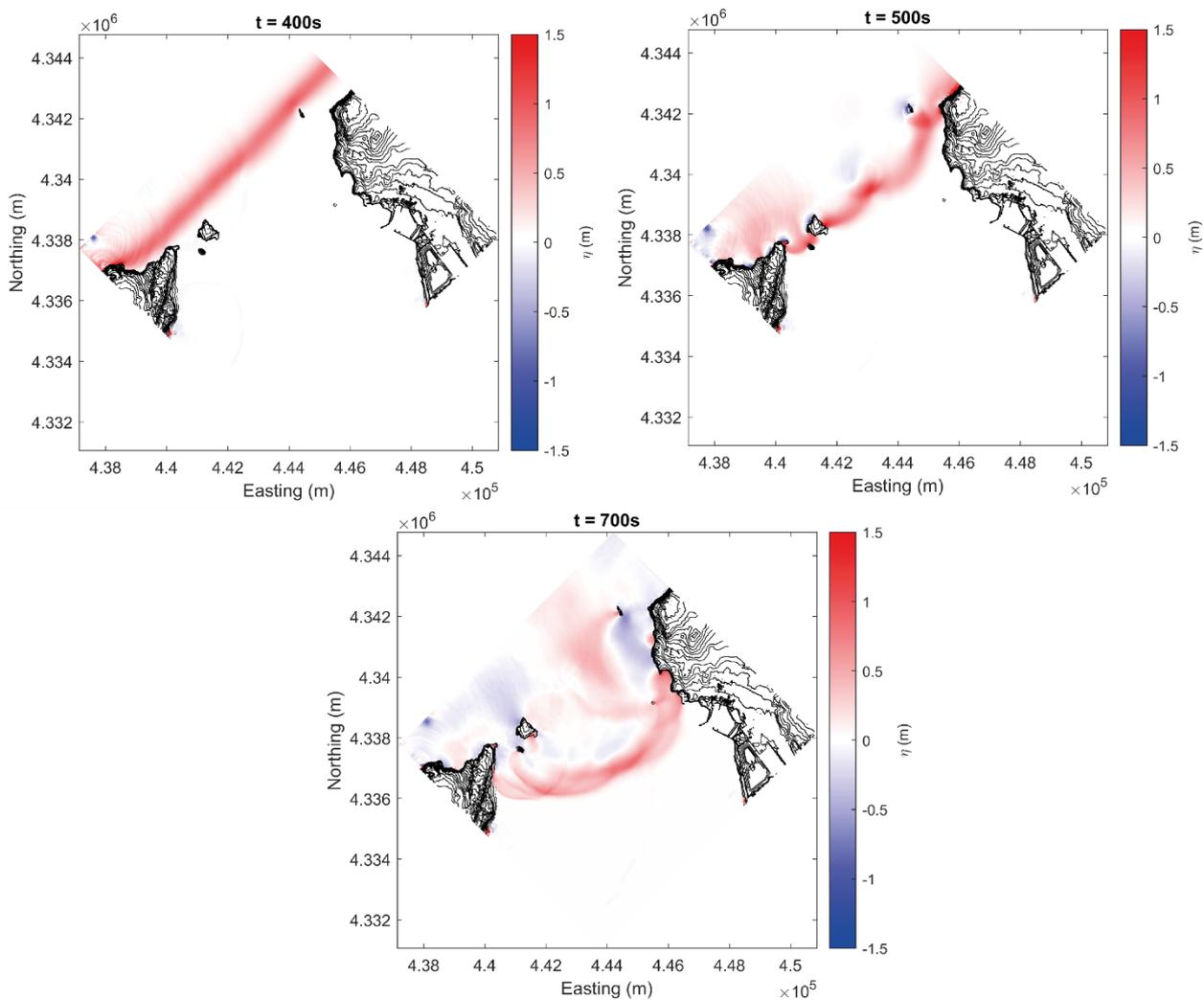


Figura 5-47 Propagazione di NORD-3 nell'intera griglia di calcolo a tre diversi istanti nel tempo.

Committente  	Progettista 	<b>COMMESSA</b> GC/R2004	<b>UNITA'</b> 001
	Località <b>PORTOVESME (SU)</b>	Riferimento Committente <b>100-ZA-E-10024</b>	
	Progetto / Impianto <b>TERMINALE DI PORTOVESME</b>	Pag. 61 di 68	<b>Rev.</b> 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-008

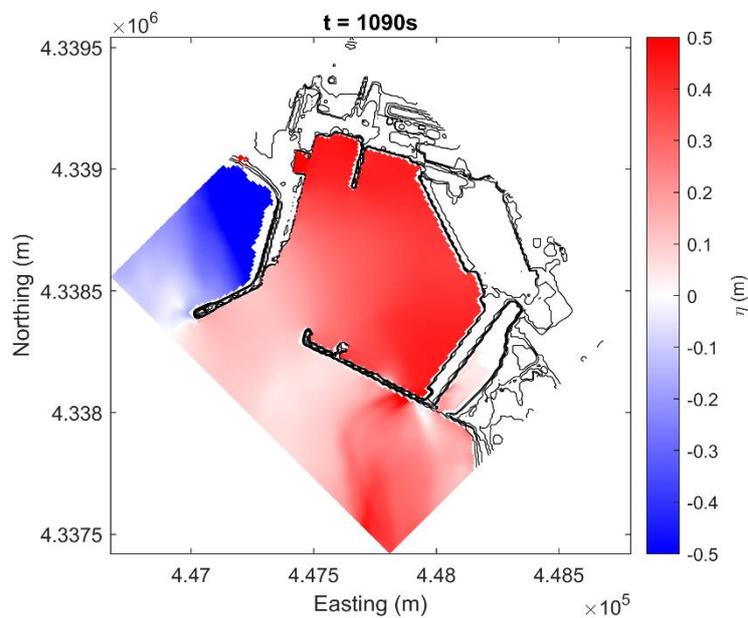


Figura 5-48 Propagazione di NORD-3 durante il massimo valore di superficie libera registrato nei punti P1, P2 e P3.

Committente 	Progettista 	<b>COMMESSA</b> GC/R2004	<b>UNITA'</b> 001
	Località <b>PORTOVESME (SU)</b>	Riferimento Committente <b>100-ZA-E-10024</b>	
	Progetto / Impianto <b>TERMINALE DI PORTOVESME</b>	Pag. 62 di 68	<b>Rev.</b> 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-008

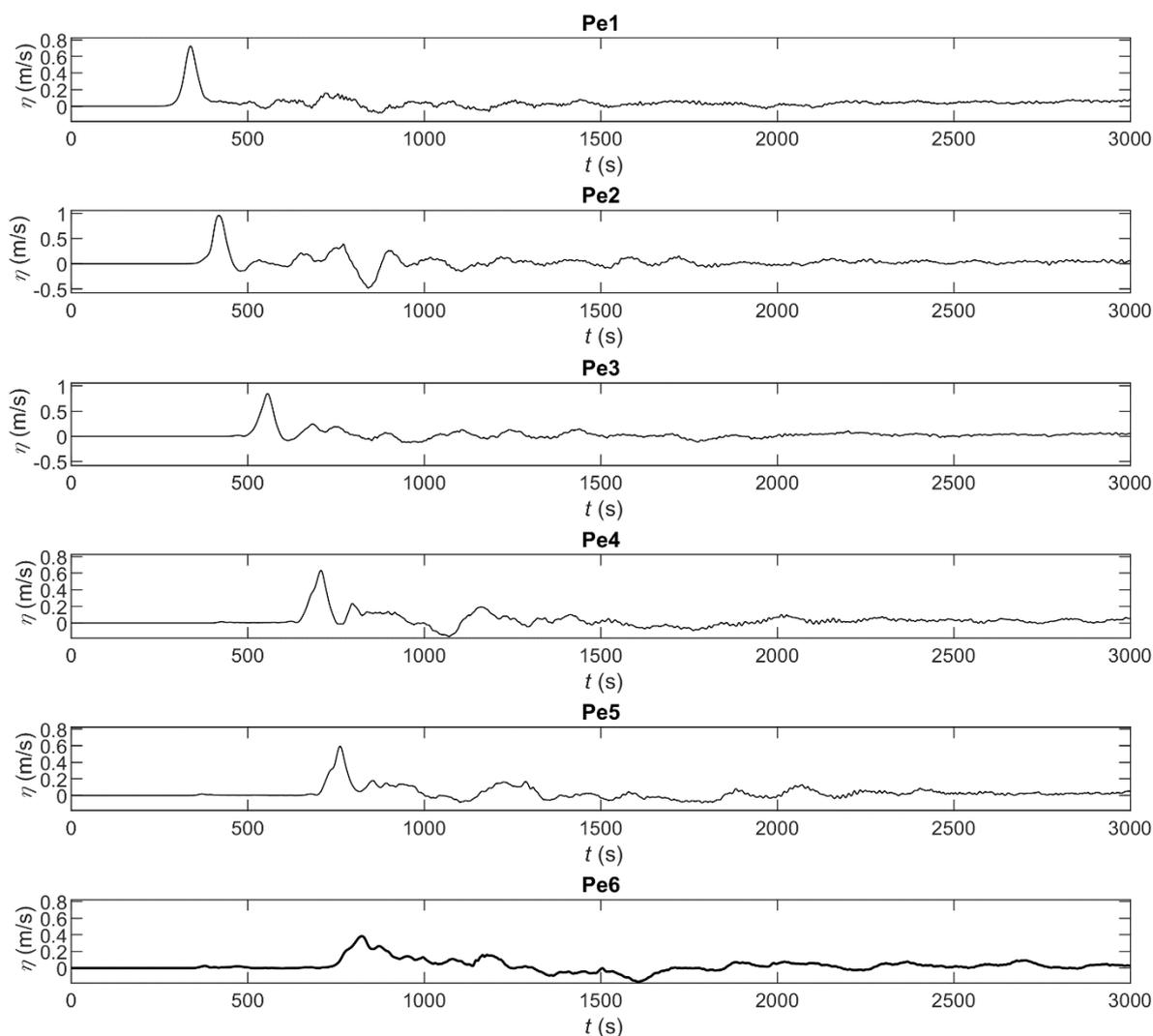


Figura 5-49 Superficie libera nel tempo nei punti esterni a Portovesme per NORD-3.

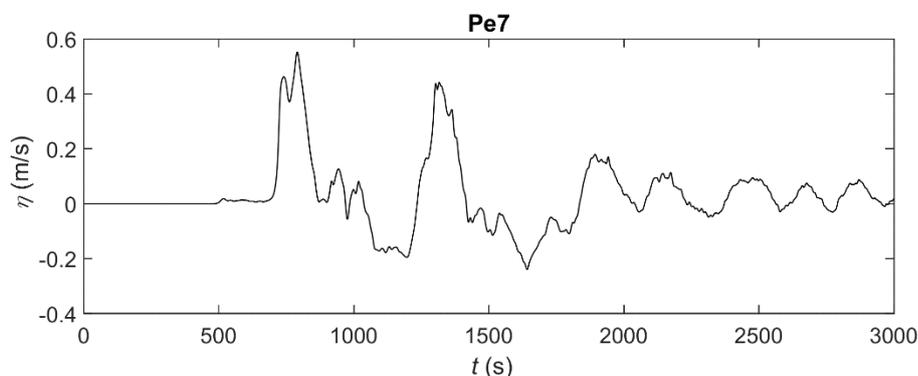


Figura 5-50 Superficie libera nel tempo nei punti posizionati all'imboccatura di Portoscuso (Pe7) per NORD-3.

Committente 	Progettista 	<b>COMMESSA</b> GC/R2004	<b>UNITA'</b> 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente <b>100-ZA-E-10024</b>	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 63 di 68	<b>Rev.</b> 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-008

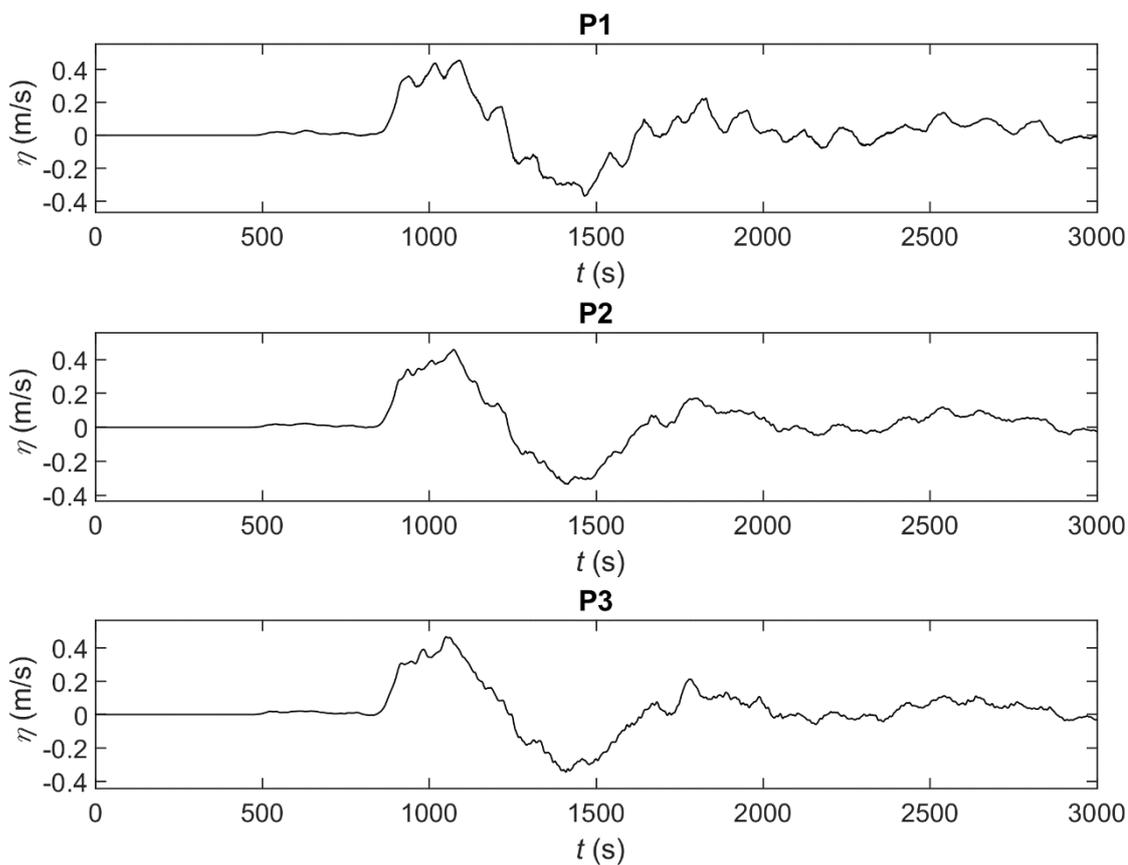


Figura 5-51 Superficie libera nel tempo per i punti posizionati lungo la banchina EST per NORD-3.

Committente 	Progettista 	<b>COMMESSA</b> GC/R2004	<b>UNITA'</b> 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente <b>100-ZA-E-10024</b>	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 64 di 68	<b>Rev.</b> 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-008

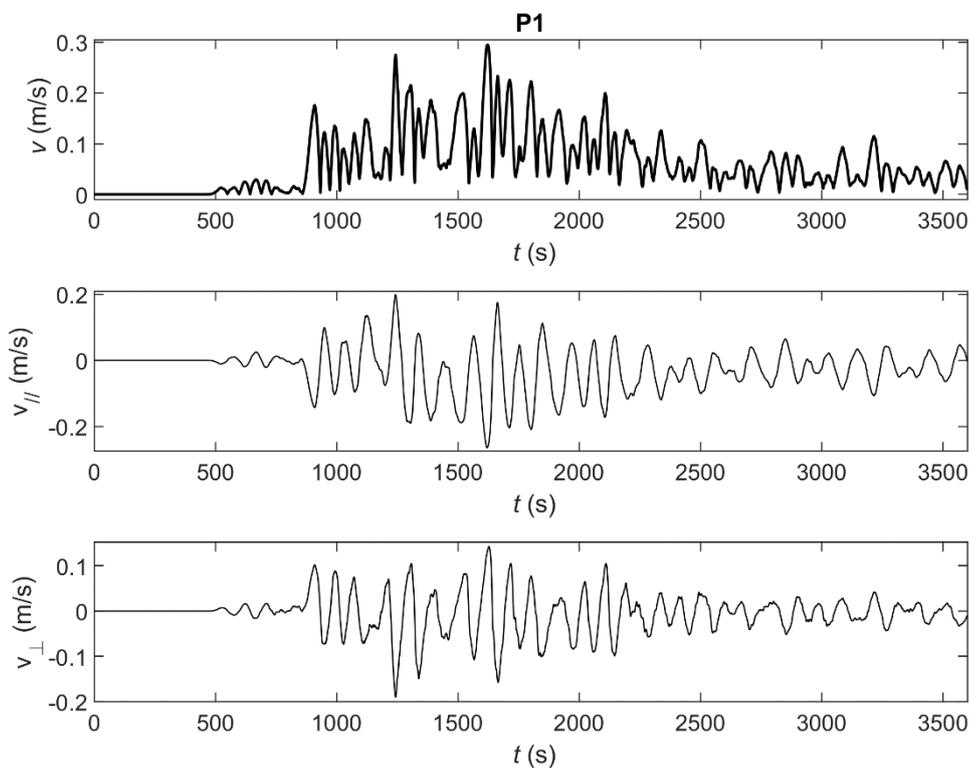


Figura 5-52 Velocità nel punto P1 per NORD-3.

Committente 	Progettista 	<b>COMMESSA</b> GC/R2004	<b>UNITA'</b> 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente <b>100-ZA-E-10024</b>	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 65 di 68	<b>Rev.</b> 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-008

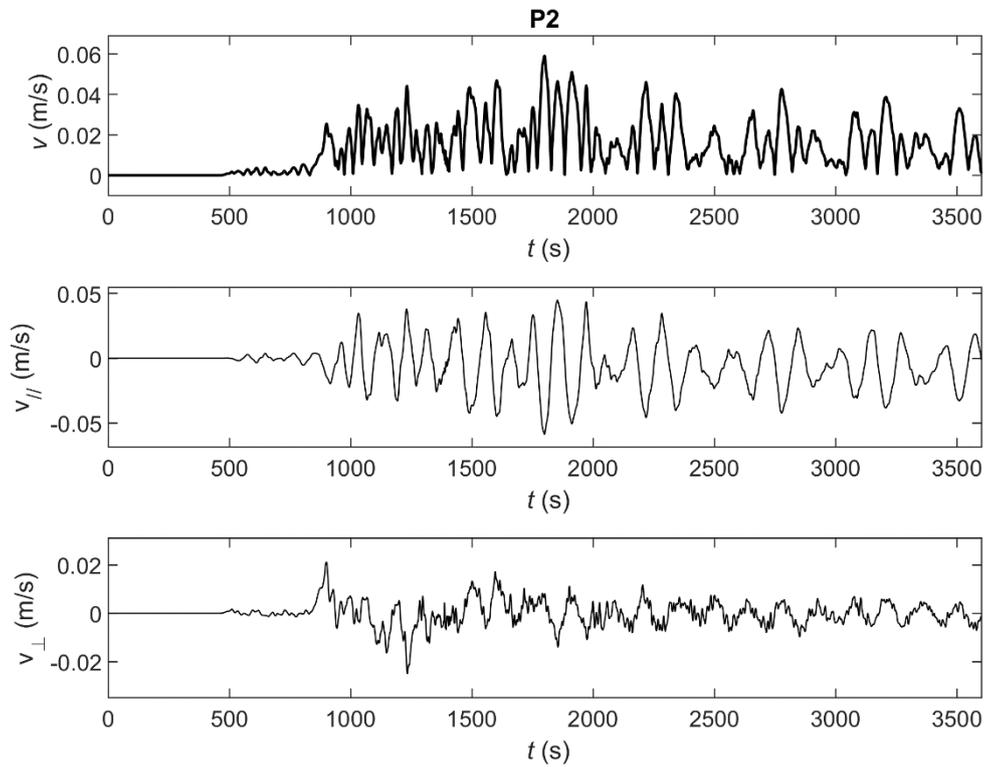


Figura 5-53 Velocità nel punto P2 per NORD-3.

Committente 	Progettista 	<b>COMMESSA</b> GC/R2004	<b>UNITA'</b> 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente <b>100-ZA-E-10024</b>	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 66 di 68	<b>Rev.</b> 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-008

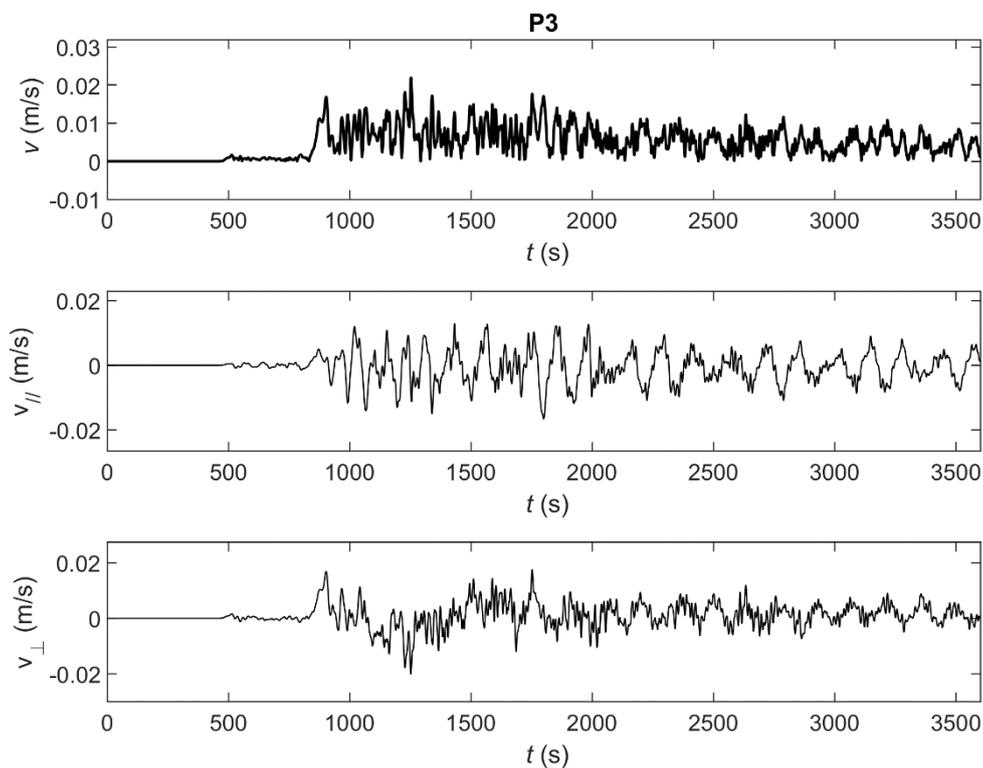


Figura 5-54 Velocità nel punto P3 per NORD-3.

Committente 	Progettista 	<b>COMMESSA</b> GC/R2004	<b>UNITA'</b> 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente <b>100-ZA-E-10024</b>	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 67 di 68	<b>Rev.</b> 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-008

## 6. SINTESI DEI RISULTATI E CONCLUSIONI

Di seguito sono riassunti i risultati principali e le conclusioni del presente studio puntando l'attenzione al porto e in particolare alla banchina Est dove verrà ormeggiata la FSRU per una finestra temporale pari a circa 25 anni.

Nella Tabella 6-1 sono riportate le elevazioni massime e minime della superficie libera rispetto al livello medio marino registrate nei punti P1, P2 e P3 della banchina Est in relazione ai sei scenari di maremoto analizzati.

Nella Tabella 6-2 invece sono riportati per gli stessi punti e gli stessi scenari di maremoto, i valori del modulo della velocità massima del flusso idrico indotto dal maremoto.

Tabella 6-1 Valori riassuntivi dei massimi e minimi valori della superficie libera rispetto al livello medio mare per i punti P1, P2 e P3 per ogni condizione d'onda investigata.

	P1		P2		P3	
	$\eta_{\max}$ (m)	$\eta_{\min}$ (m)	$\eta_{\max}$ (m)	$\eta_{\min}$ (m)	$\eta_{\max}$ (m)	$\eta_{\min}$ (m)
SUD-1	0.18	-0.21	0.14	-0.21	0.18	-0.24
SUD-2	0.19	-0.17	0.12	-0.12	0.19	-0.10
SUD-3	0.43	-0.45	0.31	-0.44	0.32	-0.44
NORD-1	0.28	-0.30	0.17	-0.21	0.16	-0.19
NORD-2	0.22	-0.15	0.16	-0.15	0.20	-0.17
NORD-3	0.46	-0.37	0.46	-0.33	0.47	-0.34

Tabella 6-2 Valori riassuntivi dei massimi valori della modulo di velocità omnidirezionale per i punti P1, P2 e P3 per ogni condizione d'onda investigata.

	P1	P2	P3
	Vmax (m/s)	Vmax (m/s)	Vmax (m/s)
SUD-1	0.33	0.09	0.15
SUD-2	0.39	0.11	0.23
SUD-3	0.35	0.08	0.12
NORD-1	0.41	0.11	0.03
NORD-2	0.34	0.08	0.04
NORD-3	0.30	0.06	0.02

Si osserva in primo luogo che per gli scenari di maremoto provenienti da Nord-Ovest e relativi al punto TSUMAPS-NORD, si ottengono mediamente valori più elevati dei livelli nel porto rispetto a quelli che si ottengono per maremoti provenienti da Sud-Ovest (TSUMAPS-SUD) nonostante che la MIH imposta in corrispondenza delle condizioni di largo (alla profondità  $h = -500,0$  m sul l.m.m.) sia maggiore per gli scenari provenienti da Sud-Ovest.

Committente 	Progettista 	<b>COMMESSA</b> GC/R2004	<b>UNITA'</b> 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente <b>100-ZA-E-10024</b>	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 68 di 68	<b>Rev.</b> 01

Riferimento TPIDL: 201969C-100-RT-3301-008

Ciò è dovuto principalmente alla minore distanza che intercorre tra la generazione delle onde (batimetrica – 50,0 m) e il porto per la direzione Nord-Ovest rispetto a quella che caratterizza per la direzione Sud-Ovest.

In secondo luogo si evidenzia che, come era lecito aspettarsi, le onde solitarie, per le quali le dispersioni in frequenza e in ampiezza tendono tra di loro a bilanciarsi mantenendo l'energia concentrata prevalentemente in una sola onda, danno luogo alle maggiori escursioni di livello nel porto rispetto a quanto accade per i maremoti costituiti in generazione da onde cnoidali.

Una ulteriore osservazione molto importante riguarda il fatto che la porzione di mare antistante Portovesme caratterizzata da bassi fondali e delimitata dalle Isole di S. Pietro e di Sant'Antiaco si comporta per le onde di maremoto come un grande avamposto dove le stesse onde riducono la loro energia specifica a ragione della dispersione circonferenziale e delle dissipazioni indotte dai bassi fondali.

Questo giustifica il risultato ottenuto, ovvero che per tutti gli scenari analizzati nel porto non si sono verificati fenomeni di allagamento o tracimazione delle opere marittime e che le oscillazioni della superficie libera risultano confrontabili con quelle ottenute nell'ambito dello studio di risonanza portuale.

Pertanto si ritiene che le mappe di inondazione calcolate dall'ISPRA, non tenendo conto dei fenomeni fisici osservati sopra descritti, siano da ritenersi eccessivamente cautelative per il caso di Portovesme.

In conclusione quindi si ritiene che le onde di maremoto nel caso di Portovesme non danno luogo ad una situazione di pericolosità superiore alla pericolosità indotta dagli altri eventi meteomarinari estremi analizzati.