

Committente 	Progettista 	COMMESSA GC/R2004	UNITA' 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente 100-ZA-E-10017	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 1 di 34	Rev. 02

Riferimento TPIDL: 201969C-RT-3301-004

TERMINALE DI PORTOVESME

Studio dell'agitazione interna portuale (onde corte)



Rev.	Descrizione	Elaborato	Verificato	Approvato Autorizzato	Data
02	Emissione per enti	De Girolamo	G. Sagaria	G. Monti	15/11/21
01	Emissione per commenti	De Girolamo	G. Sagaria	G. Monti	08/09/21
00	Emissione per commenti	De Girolamo	G. Sagaria	G. Monti	17/05/21

Committente 	Progettista 	COMMESSA GC/R2004	UNITA' 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente 100-ZA-E-10017	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 2 di 34	Rev. 02

Riferimento TPIDL: 201969C-RT-3301-004

INDICE

1.	INTRODUZIONE E SCOPO DEL LAVORO	3
2.	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DI PORTOVESME	4
3.	OBIETTIVI E METODOLOGIA DI LAVORO	5
4.	DATI DI BASE	7
4.1.	Condizioni di moto ondoso estreme al largo	8
4.2.	Condizioni di moto ondoso in prossimità di Portovesme	10
5.	SIMULAZIONI CON IL MODELLO AGLI ELEMENTI FINITI GEMMA	12
5.1.	Definizione dei domini di calcolo per il modello GEMMA	12
5.2.	Condizioni al contorno	14
6.	ANALISI DEI RISULTATI	18
6.1.	Calcolo di $(H_s)_Q$ nelle aree di riferimento	20
6.2.	Risultati ottenuti in forma grafica	21
7.	Descrizione sintetica del modello numerico GEMMA	28
8.	Riferimenti bibliografici	31
9.	Allegato 1	32

Committente 	Progettista 	COMMESSA GC/R2004	UNITA' 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente 100-ZA-E-10017	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 3 di 34	Rev. 02

Riferimento TPIDL: 201969C-RT-3301-004

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 m³ di GNL e una capacità di rigassificazione massima di circa 330.000 Sm³/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 della propagazione del moto ondoso all'interno del bacino portuale di Portovesme indotto dalle onde corte generate dal vento 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 	COMMESSA GC/R2004	UNITA' 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente 100-ZA-E-10017	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 4 di 34	Rev. 02

Riferimento TPIDL: 201969C-RT-3301-004

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.

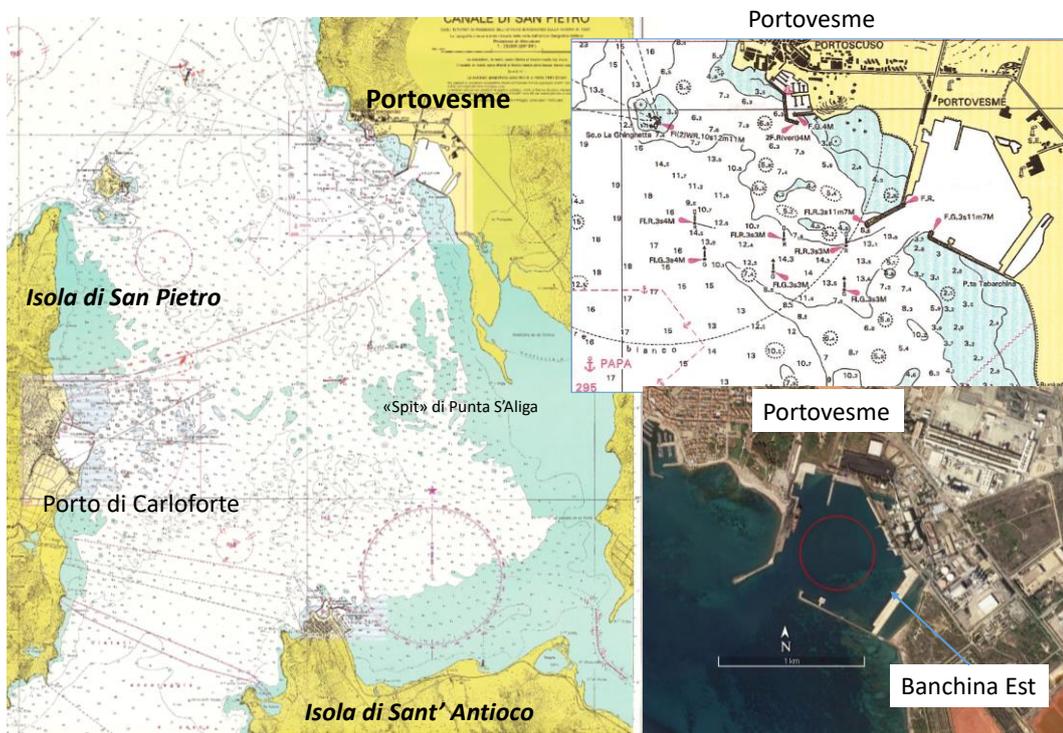


Figura 2-1. Localizzazione geografica di Portovesme e della banchina Est dove si prevede di ormeggiare la FSRU.

Committente 	Progettista 	COMMESSA GC/R2004	UNITA' 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente 100-ZA-E-10017	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 5 di 34	Rev. 02

Riferimento TPIDL: 201969C-RT-3301-004

3. OBIETTIVI E METODOLOGIA DI LAVORO

L'obiettivo dello studio di agitazione interna portuale è quello di definire, in senso probabilistico, le onde estreme generate dal vento che possono agire sullo scafo della FSRU durante il periodo di tempo, pari a circa 25 anni, in cui la nave sarà ormeggiata alla banchina Est di Portovesme.

Tali onde, insieme al vento che agisce sull'opera morta dello scafo, determinano:

- le forze che la nave esercita sui dispositivi di accosto (parabordi) e di ormeggio (bitte) tramite le linee di ormeggio;
- i movimenti della nave ormeggiata e in particolar modo i suoi spostamenti verticali.

Per quanto riguarda i periodi delle onde generate dal vento, si possono distinguere:

- a) le onde corte, o di breve periodo;
- b) le onde lunghe generate dall'interazione non lineare tra le componenti spettrali.

I processi non lineari che si esplicano tra le componenti spettrali delle onde di vento, tendono ad aumentare al diminuire dei fondali e diventano rilevanti quando le onde corte sono soggette a fenomeni di frangimento indotti dal fondale. In queste condizioni le onde lunghe vengono forzate dai gruppi costituiti dalle onde corte di diversa frequenza, a causa dei gradienti tra i così detti "radiation stresses" che si verificano in corrispondenza delle onde più alte, poste al centro dei gruppi, e di quelli che si verificano in corrispondenza delle onde più basse, poste all'estremità dei gruppi. I "radiation stresses" sono definiti come i valori medi del flusso di quantità di moto indotto dal moto oscillatorio delle onde.

Con riferimento alla Figura 3-1, le onde lunghe che si generano in acqua bassa, denominate "bound long waves" (onde lunghe legate), sono costituite da oscillazioni del livello marino le quali si propagano con la celerità dei gruppi - costituiti dalle onde corte - e non con la celerità che gli competerebbe in base alla relazione di dispersione a ragione del loro periodo. Per questa ragione queste oscillazioni, propagandosi insieme ai gruppi, sono definite "onde lunghe legate" o "bound long waves".

Le onde lunghe, oltre a propagarsi insieme ai gruppi, si presentano in opposizione di fase rispetto ad essi, poiché al centro del gruppo - dove le onde corte presentano una maggiore altezza - si verifica il cavo dell'onda lunga, mentre agli estremi dei gruppi - dove le onde corte presentano una minore altezza - si verifica la cresta.

Per quanto riguarda la penetrazione del moto ondoso all'interno di un porto, in generale si può affermare che mentre le onde corte vengono attenuate in termini di energia dalle opere foranee del porto, la stessa cosa può non accadere per le onde lunghe, poiché queste ultime, essendo caratterizzate da periodi maggiori rispetto a quelli delle onde corte, possono presentare periodi simili rispetto a quelli propri principali di oscillazione del bacino portuale.

Ciò può dar luogo ad una amplificazione delle onde lunghe nel bacino portuale, ovvero ad un fenomeno di risonanza delle onde lunghe.

Nel caso di Portovesme i bassi fondali che caratterizzano la porzione di mare compresa tra lo stesso porto e le Isole di S. Pietro e di S. Antioco inducono il frangimento del moto ondoso riducendo considerevolmente l'altezza delle onde

Committente 	Progettista 	COMMESSA GC/R2004	UNITA' 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente 100-ZA-E-10017	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 6 di 34	Rev. 02

Riferimento TPIDL: 201969C-RT-3301-004

estreme di vento provenienti da largo. Tuttavia allo stesso tempo il frangimento può determinare un aumento dell'energia delle "bound long-waves" che potrebbero essere soggette a fenomeni di risonanza quando penetrano nel porto.

Data l'estesa porzione di mare caratterizzata dai bassi fondali compresa tra il mare aperto e il porto, allo stato attuale risulta praticamente impossibile seguire contemporaneamente l'evoluzione delle onde corte e di quelle lunghe con un unico codice di calcolo fino ad entrare nello specchio d'acqua portuale.

Per tale ragione è risultato necessario separare i processi fisici e studiare con codici di calcolo diversi la propagazione delle onde da largo fino all'interno del porto.

In particolare lo studio dell'evoluzione delle onde corte è stata eseguita in due fasi. Nella prima fase si è studiata la propagazione da largo a riva delle onde mediante il codice spettrale SWAN che non tiene conto dei fenomeni di diffrazione e riflessione delle onde i quali invece sono importanti quando le onde penetrano nel bacino portuale.

I risultati del codice SWAN sono stati utilizzati nella seconda fase, descritta nel presente rapporto, per fornire le condizioni al contorno al modello GEMMA che, risolvendo mediante la tecnica degli elementi finiti l'equazione detta di "mild-slope" (Berkhoff, 1972), costituisce uno dei codici attualmente più versatili per studiare la penetrazione del moto ondoso nei bacini portuali. Infatti il modello è in grado di tenere conto dei fenomeni fisici combinati di rifrazione, shoaling, diffrazione, riflessione delle onde e frangimento del moto ondoso i quali giocano un ruolo importante per la penetrazione delle onde corte nei bacini portuali.

In una terza fase, che come previsto è oggetto di uno studio separato, viene analizzata la generazione delle onde lunghe ad opera delle dissipazioni di energia dovute principalmente al frangimento del moto ondoso che intervengono sui bassi fondali antistanti il porto e la possibilità che le stesse onde lunghe possano penetrare ed eventualmente essere amplificate dal bacino portuale.

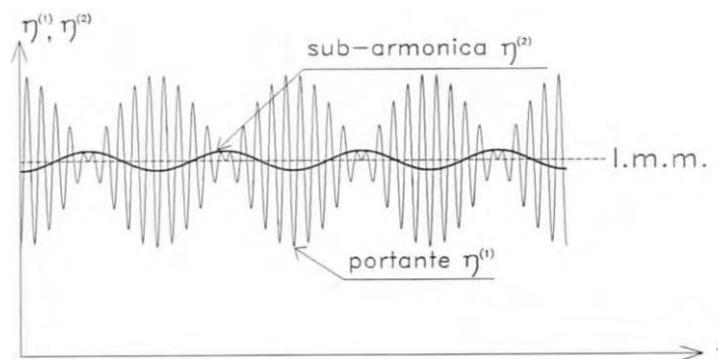


Figura 3-1 - Sub-armoniche legate a gruppi di onde (bound long waves).

Committente 	Progettista 	COMMESSA GC/R2004	UNITA' 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente 100-ZA-E-10017	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 7 di 34	Rev. 02

Riferimento TPIDL: 201969C-RT-3301-004

4. DATI DI BASE

Per definire il dominio di calcolo e le “forzanti” meteomarine da utilizzare come condizioni al contorno per le simulazioni numeriche descritte nel presente rapporto si è fatto riferimento ai risultati ottenuti nell’ambito dei seguenti studi facenti parte del presente progetto:

- 100-ZA-E-10008 Studio Meteomarino
- 100-ZA-E-10009 Propagazione del moto ondoso da largo a riva

Per comodità di lettura si riportano di seguito i principali risultati ottenuti da questi studi che risultano funzionali alle analisi descritte nel presente rapporto.

Per quanto riguarda le profondità all’interno del bacino portuale e lungo il canale di accesso, si è fatto riferimento alle seguenti batimetrie fornite in formato pdf:

- Rilievo batimetrico dell’area portuale eseguito dalla Geosintech nel 2019 (vedi Figura 4-1);
- Planimetria generale area di dragaggio stato di progetto relativa al Progetto Definitivo di dragaggio (Capogruppo mandataria: Intercantieri Vittadello) redatto nel 2016 (vedi Figura 4-2).

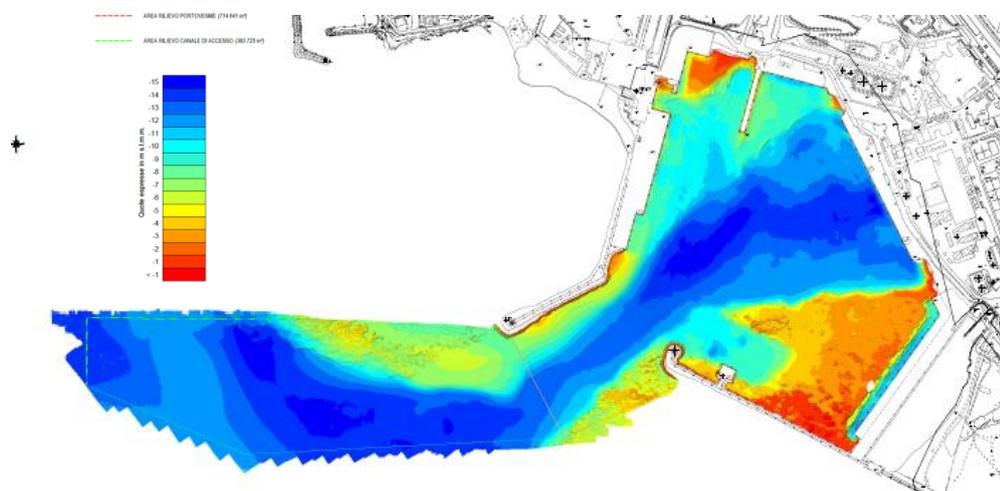


Figura 4-1 - Rilievo batimetrico dell’area portuale eseguito dalla Geosintech nel 2019.

Committente 	Progettista 	COMMESSA GC/R2004	UNITA' 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente 100-ZA-E-10017	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 8 di 34	Rev. 02

Riferimento TPIDL: 201969C-RT-3301-004

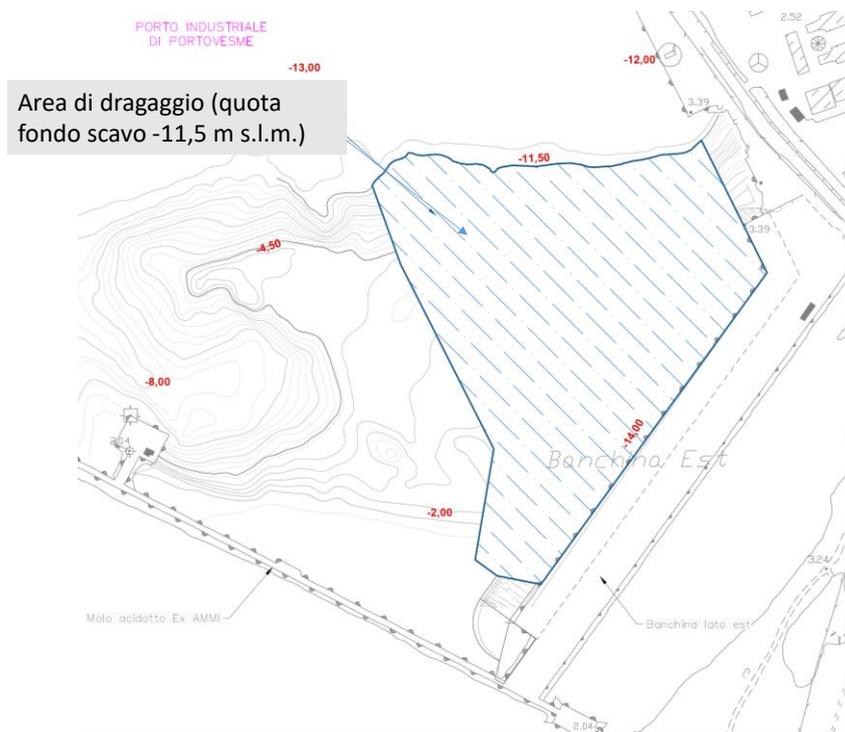


Figura 4-2 - Planimetria generale area di dragaggio stato di progetto relativa al Progetto Definitivo di dragaggio.

Come si evince dalle figure sopra riportate l'area prospiciente la banchina Est non è stata ancora dragata e presenta fondali naturali di pochi metri per cui la banchina finora non è stata utilizzata.

Il progetto di dragaggio prevede l'approfondimento dei fondali nella zona antistante la banchina Est fino a raggiungere la profondità di -11,5 m s.l.m.

Il progetto non prevede il dragaggio della porzione meridionale del porto adiacente al molo Sud.

Nella planimetria di dragaggio non sono state indicate superfici di raccordo tra la zona dragata e quella esclusa dal dragaggio, nonostante vi siano in alcune zone differenze di quota tra il fondo scavo e le zone non dragate nell'ordine dei 9,0 m.

Poiché il materiale di fondo del bacino portuale è costituito da materiale incoerente di granulometria relativamente fine (sabbie e limi), si è tenuto conto che date le caratteristiche geotecniche del terreno necessariamente si verrà a formare una superficie di raccordo tra il fondo dello scavo e le zone escluse dal dragaggio avente una pendenza che in assenza di informazioni è stata assunta pari a circa 1:5.

4.1. Condizioni di moto ondoso estreme al largo

Per definire le condizioni di moto ondoso a largo di Portovesme (clima ondometrico medio annuale ed onde estreme) sono state utilizzate le serie storiche orarie di moto ondoso ricostruite in re-analisi dal 1979 al 2021 nell'ambito del Progetto Copernicus dall'European Center for Medium Range Weather Forecast (ECMWF), contenute nel database denominato ERA5.

Committente 	Progettista 	COMMESSA GC/R2004	UNITA' 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente 100-ZA-E-10017	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 9 di 34	Rev. 02

Riferimento TPIDL: 201969C-RT-3301-004

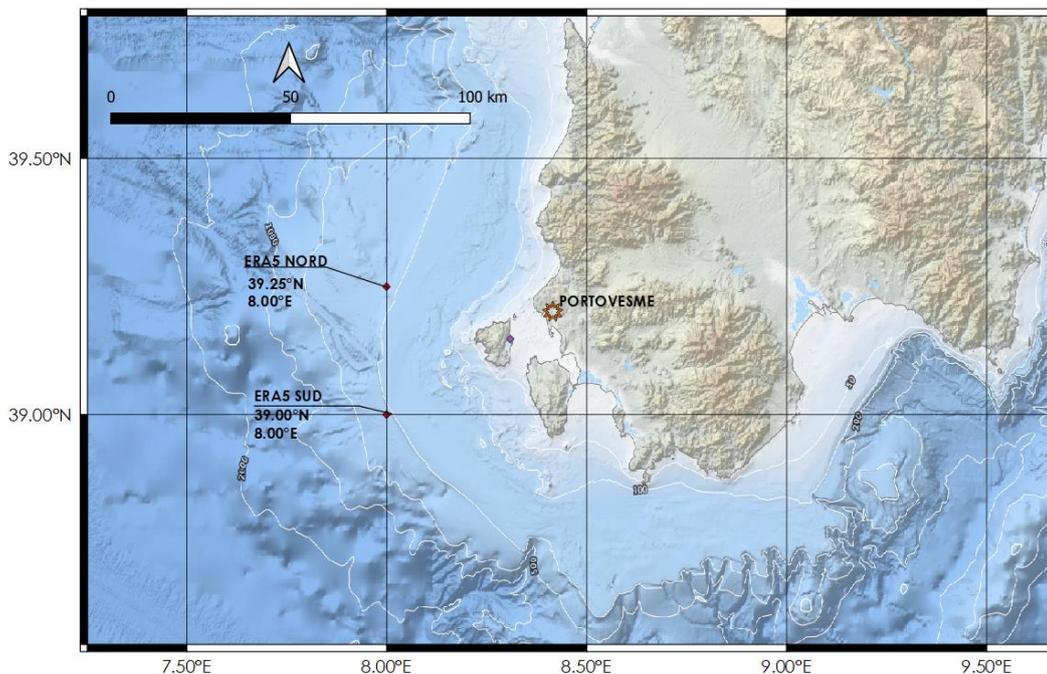


Figura 4-3 Localizzazione dei punti ERA5-Nord e ERA5-Sud utilizzati per la caratterizzazione del moto ondoso a largo.

Nella Figura 4-3 è riportata la localizzazione dei due punti della griglia ERA5 utilizzati, denominati ERA5 Nord ed ERA5 Sud, in corrispondenza dei quali sono state estratte le serie storiche di moto ondoso ricostruite in re-analisi.

Nei diagrammi polari di Figura 4-4 sono riportati per i due punti ERA5 i valori delle altezze d'onda significative H_s e delle corrispondenti direzioni di provenienza del moto ondoso relativi ai culmini delle mareggiate di maggiore intensità che si sono verificate nel periodo di circa 41 anni coperto dalle serie storiche.

I grafici polari mostrano chiaramente che in relazione agli eventi estremi di moto ondoso a largo di Portovesme possono essere individuati tre settori di traversia, dei quali solo il primo (Nord-Ovest) e il secondo (Sud-Ovest) risultano di interesse per Portovesme, poiché esso risulta completamente schermato dal moto ondoso proveniente dal terzo settore (Sud-Est).

L'analisi statistica eseguita sulle mareggiate estreme, ha consentito di pervenire alla correlazione tra l'altezza d'onda significativa H_s e il tempo di ritorno T_r riportata nella Tabella 4-1 per i due settori di traversia di interesse e per cinque tempi di ritorno selezionati. Nella Tabella 4-1 sono altresì riportati i periodi di picco spettrali (T_p) correlati alle altezze d'onda significative relative ai vari tempi di ritorno selezionati.

Committente 	Progettista 	COMMESSA GC/R2004	UNITA' 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente 100-ZA-E-10017	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 10 di 34	Rev. 02

Riferimento TPIDL: 201969C-RT-3301-004

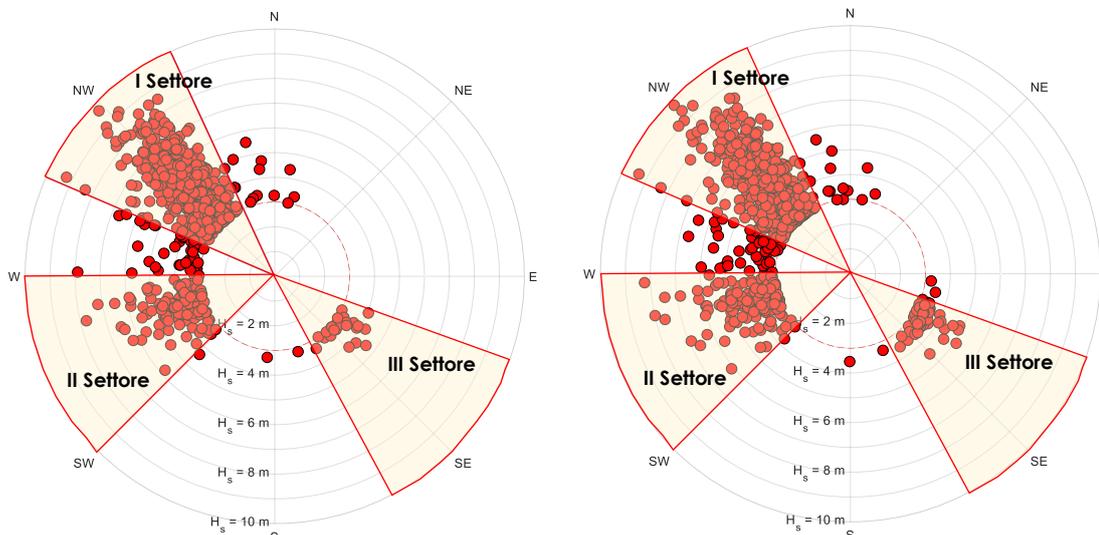


Figura 4-4 Individuazione dei settori di traversia per il punto di acquisizione ERA5 Nord (grafico di sinistra) e per il punto ERA5 Sud (grafico di destra).

Tabella 4-1 Eventi estremi a largo per i settori di traversia di Maestrale e di Libeccio

SETTORE [300°N – 330°N]			SETTORE [225°N – 270°N]		
T_r (anni)	H_s (m)	T_p (s)	T_r (anni)	H_s (m)	T_p (s)
2	7.97	11.84	2	5.84	10.24
10	9.67	12.55	10	7.44	11.12
25	10.64	12.91	25	8.34	11.56
50	11.38	13.19	50	9.03	11.89
100	12.12	13.43	100	9.71	12.18

4.2. Condizioni di moto ondoso in prossimità di Portovesme

Come accennato in precedenza, nell'ambito dello studio di propagazione del moto ondoso da largo a riva, è stato applicato il modello numerico SWAN per trasferire gli stati di mare estremi selezionati (vedi Tabella 4-1) da largo fino a raggiungere l'area prospiciente il bacino portuale.

L'applicazione del modello SWAN è stata eseguita coprendo un'area molto estesa che include tutta la costa Sud- occidentale della Sardegna. Nella Figura 4-5 sono riportate le due griglie di calcolo innestate utilizzate per applicare il modello SWAN.

La prima griglia (COARSE GRID) copre un'area di circa 62,5 km x 52,5 km ed è composta da una maglia di calcolo quadrata di passo pari a 250 m.

La seconda griglia (NEST GRID) di dettaglio si estende invece su una superficie più contenuta (14 km x 10 km) con passo di discretizzazione spaziale di 25 m.

Il modello numerico, pur tenendo conto dei principali fenomeni fisici che intervengono nella propagazione del moto ondoso da largo a riva (rifrazione, shoaling, dissipazione di energia per frangimento, interazioni non lineari tra le componenti spettrali, generazione delle onde ad opera del vento, ecc.), non è in

Committente 	Progettista 	COMMESSA GC/R2004	UNITA' 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente 100-ZA-E-10017	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 11 di 34	Rev. 02

Riferimento TPIDL: 201969C-RT-3301-004

grado di tenere conto della diffrazione e della riflessione del moto ondoso che intervengono nella fase di penetrazione del moto ondoso nei bacini portuali. Per tale ragione è risultato necessario applicare un secondo modello di propagazione delle onde (modello GEMMA) per entrare nel bacino portuale. Come di seguito illustrato, le condizioni al contorno per il modello GEMMA sono state derivate dai risultati forniti da SWAN.

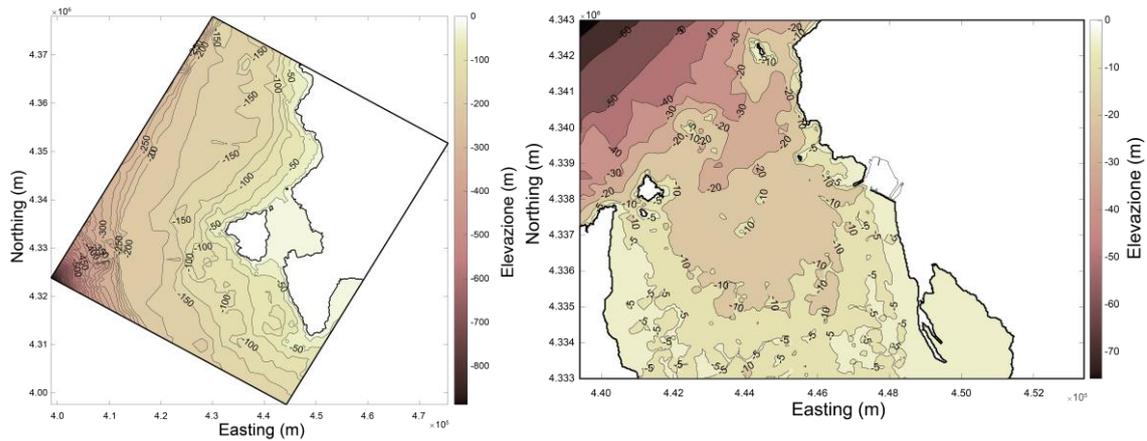


Figura 4-5 Griglie di calcolo per l'applicazione del modello SWAN, nel grafico di sinistra è riportata la griglia su grande scala mentre nel grafico di destra la griglia di dettaglio.

Committente 	Progettista 	COMMESSA GC/R2004	UNITA' 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente 100-ZA-E-10017	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 12 di 34	Rev. 02

Riferimento TPIDL: 201969C-RT-3301-004

5. SIMULAZIONI CON IL MODELLO AGLI ELEMENTI FINITI GEMMA

Come in precedenza accennato, lo studio della penetrazione del moto ondoso all'interno del bacino portuale è stata eseguita mediante il modello numerico GEMMA che risolve l'equazione detta di "slope" ("mild-Berkhoff, 1972) che è in grado di simulare la penetrazione di onde regolari con energia dispersa in frequenza e direzione tenendo conto dei fenomeni fisici combinati di rifrazione, shoaling, diffrazione, riflessione e frangimento del moto ondoso.

Il modello risolve l'equazione mediante la tecnica degli elementi finiti. La descrizione di GEMMA è riportata da De Girolamo et al. (1998), Beltrami et al. (1998), Beltrami et al. (2001) e Bellotti et al. (2003). Nel Cap. 7 si riporta una sintesi della descrizione del codice.

5.1. Definizione dei domini di calcolo per il modello GEMMA

Per la definizione dei domini di calcolo da simulare con il modello GEMMA, in primo luogo è stata eseguita l'analisi dei risultati ottenuti con il modello SWAN in prossimità di Portovesme.

L'analisi ha mostrato che in prossimità del porto le condizioni di moto ondoso più gravose, che quindi possono dar luogo ad una maggiore penetrazione del moto ondoso nel bacino portuale, si ottengono con le mareggiate provenienti a largo da 300° N (direzione relativa al settore di traversia a largo da maestrale compreso tra 300° N – 300° N) e da 270° N (direzione relativa al settore di traversia a largo da libeccio compreso tra 225° N – 270° N).

Nella Figura 5-1 e nella Figura 5-2 sono riportati i domini di calcolo che sono stati utilizzati per studiare la penetrazione delle onde corte nel porto provenienti rispettivamente da Maestrale e da Ponente. I due domini di calcolo sono stati definiti in modo tale da:

- contenere al loro interno oltre al porto anche una ampia zona di mare posta nel suo intorno in grado di includere il canale di accesso dragato che influenza la penetrazione del moto ondoso nel porto;
- porre i contorni di generazione riportati nella Figura 5-1 e nella Figura 5-2 in zone dove le caratteristiche del moto ondoso calcolate con il modello SWAN fossero abbastanza regolari.

Ciascuno dei due domini di calcolo è stato quindi discretizzato con elementi finiti di forma triangolare garantendo in ogni zona del dominio almeno dieci nodi per lunghezza d'onda.

La prima griglia, implementata per gli stati di mare provenienti dal settore di Maestrale riportata in Figura 5-1, è costituita da circa 98.000 elementi e 50.000 nodi, e copre una superficie di 4.5 km per 3.7 km.

La seconda griglia di calcolo, implementata per gli stati di mare provenienti da Ponente riportata in Figura 5-2, presenta all'incirca 95.000 elementi e 48.800 nodi, estendendosi su una superficie all'incirca di 2.7 km per 3.3 km.

In proporzione alle dimensioni del dominio di calcolo, la seconda griglia presenta un numero maggiore di nodi rispetto alla prima, in quanto gli stati di mare

Committente 	Progettista 	COMMESSA GC/R2004	UNITA' 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente 100-ZA-E-10017	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 13 di 34	Rev. 02

Riferimento TPIDL: 201969C-RT-3301-004

provenienti da 280°N sono caratterizzati da periodi più piccoli rispetto a quelli provenienti da Maestrale e quindi da minori lunghezze d'onda.

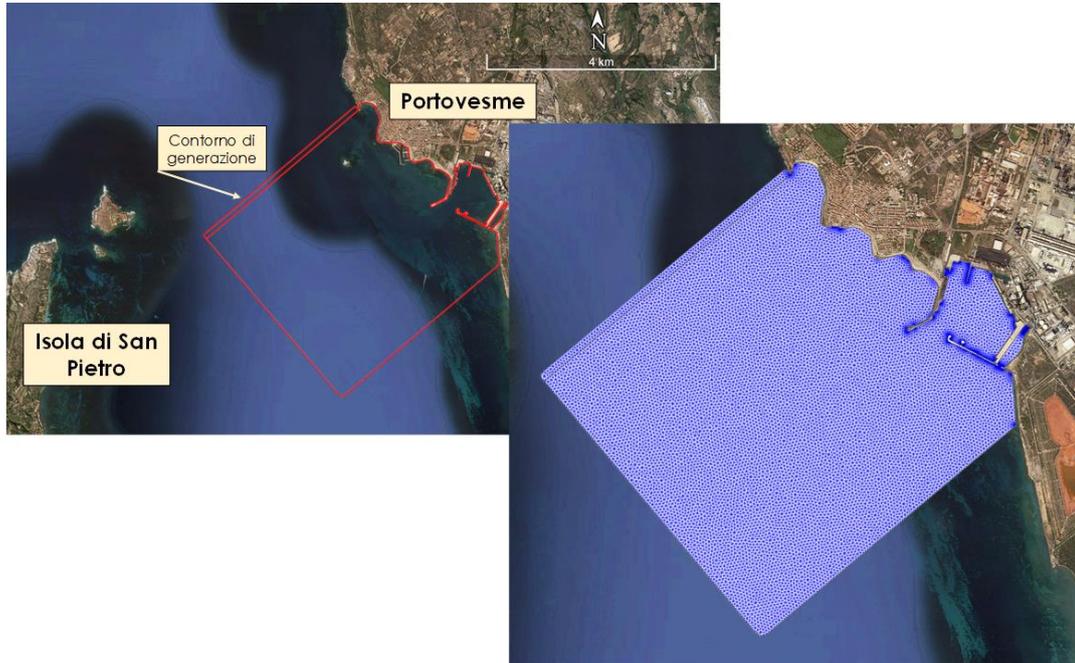


Figura 5-1 - Dominio di calcolo per gli stati di mare provenienti da Maestrale

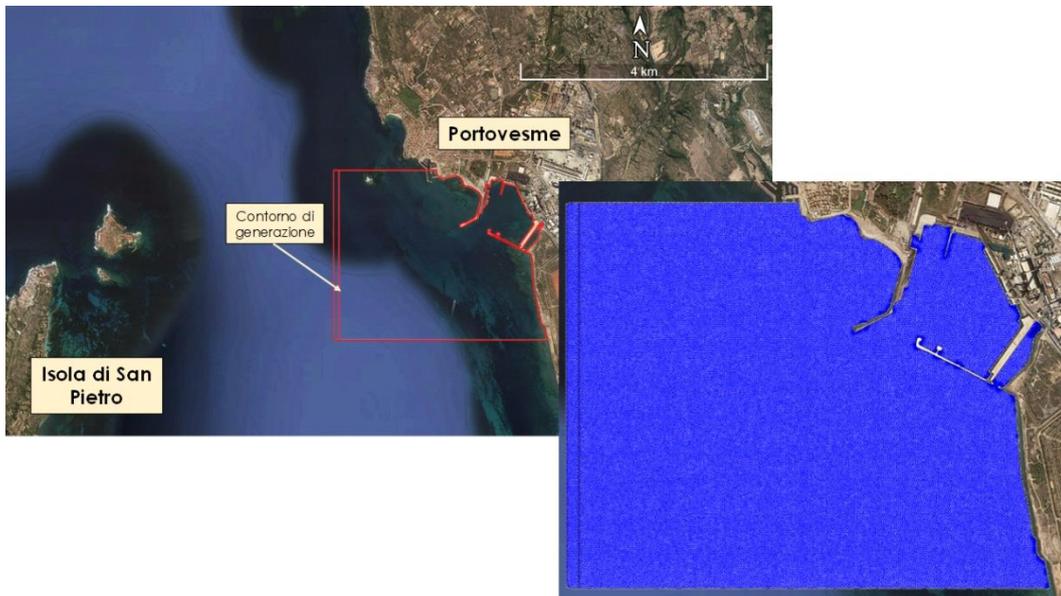


Figura 5-2 - Dominio di calcolo per gli stati di mare provenienti da Ponente.

Committente 	Progettista 	COMMESSA GC/R2004	UNITA' 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente 100-ZA-E-10017	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 14 di 34	Rev. 02

Riferimento TPIDL: 201969C-RT-3301-004

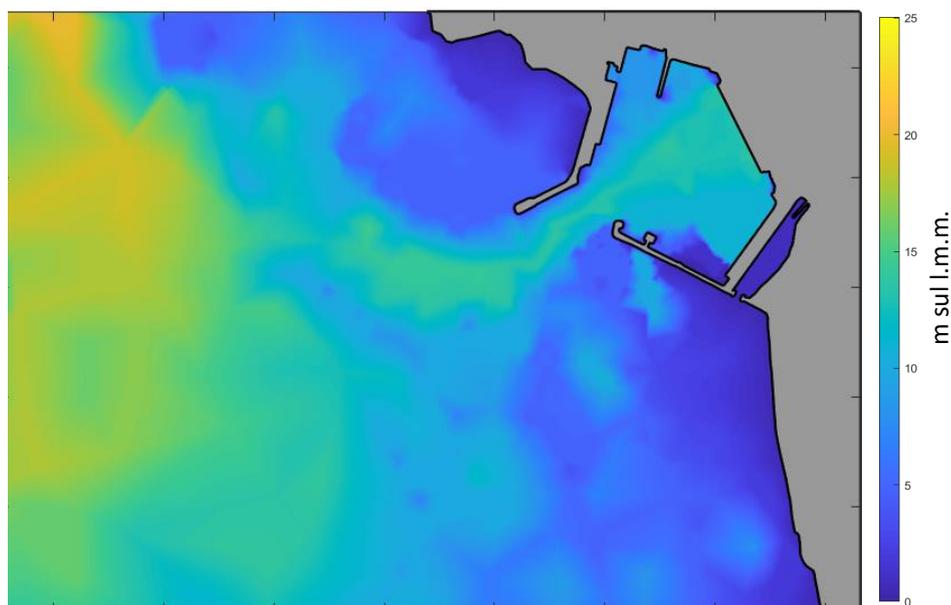


Figura 5-3 Modello GEMMA: batimetria implementata per simulare il moto ondoso proveniente da Ponente.

Nella Figura 5-3 si mostra a titolo di esempio la batimetria implementata per simulare le onde provenienti da Ponente. La figura mostra chiaramente il canale di accesso al porto che è circondato da bassi fondali.

5.2. Condizioni al contorno

Moto ondoso e livello medio del mare

Nella Tabella 5-1 sono riportate le caratteristiche del moto ondoso desunte dai risultati forniti dal modello SWAN ed utilizzate come condizioni al contorno per il modello GEMMA.

Tabella 5-1 - Condizioni al contorno per il modello agli elementi finiti GEMMA

SETTORE NORD-OVEST [320°N]			SETTORE DI OVEST SUD-OVEST [280°N]		
T_r (anni)	H_s (m)	T_p (s)	T_r (anni)	H_s (m)	T_p (s)
2	5.0	11.0	2	2.50	9.2
10	5.5	11.5	10	3.25	9.8
25	5.8	12.0	25	3.50	10.5
50	6.0	12.0	50	3.75	11.0
100	7.0	12.5	100	4.00	11.0

Per quanto riguarda i livelli idrici, le simulazioni sono state eseguite associando a ciascun stato di mare lo stesso sovrizzo di tempesta utilizzato per eseguire le simulazioni con il modello SWAN.

Committente 	Progettista 	COMMESSA GC/R2004	UNITA' 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente 100-ZA-E-10017	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 15 di 34	Rev. 02

Riferimento TPIDL: 201969C-RT-3301-004

Per comodità di lettura si riportano di seguito i valori del sovralzo del livello medio del mare utilizzato per ciascun tempo di ritorno:

- Tr= 2 anni SWL (m) = +0.40+ 0.13;
- Tr= 10 anni SWL (m) = +0.49 + 0.13;
- Tr= 25 anni SWL (m) = +0.54 + 0.13;
- Tr= 50 anni SWL (m) = +0.58 + 0.13;
- Tr= 100 anni SWL (m) = +0.62 + 0.13.

Si osserva che adottando lo stesso approccio utilizzato per eseguire le simulazioni con il modello SWAN, a tutte le simulazioni si è aggiunto al sovralzo di tempesta un ulteriore sovralzo del livello del mare pari a +0.13 m, che corrisponde alla presenza di una condizione di alta marea sizigiale di media ampiezza.

Questa assunzione deve essere considerata cautelativa in termini di agitazione interna portuale in quanto, aumentando i fondali, si riducono le dissipazioni di energia dovute al frangimento e quindi si aumenta la penetrazione delle onde nel bacino portuale.

Coefficienti di riflessione

Per quanto riguarda i coefficienti di riflessione dei contorni del dominio di calcolo costituiti dalla costa e dalle strutture marittime che delimitano l'area portuale si sono utilizzati i valori indicati nella Tabella 5-2.

Tabella 5-2 Valori dei coefficienti di riflessione considerati nelle simulazioni

Descrizione sintetica della tipologia degli "elemento di contorno"	Coefficiente di Riflessione $R = H_r/H_i$
banchine a pareti verticali riflettenti	0,90
pontile con cassoncini antiriflettenti	0,60
banchine a parete verticale su bassi fondali rocciosi	0,40
tratti rocciosi naturali ed opere a scogliera	0,35
pontili su pali o galleggianti (completamente permeabili)	0,00
Spiagge e litorali a debole pendenza	0,10

Con riferimento alla Figura 5-4 che mostra una sezione della banchina EST con ormeggiate la FSRU e la nave che ne garantisce il rifornimento di gas liquido, si evidenzia che la banchina EST è costituita da un pontile a giorno su pali e da una scogliera assorbente posta al di sotto dello stesso pontile.

In assenza delle navi ormeggiate, la banchina risulta caratterizzata da un coefficiente di riflessione estremamente modesto (circa 0.35) e di conseguenza assorbe gran parte dell'energia del moto ondoso incidente.

Per contro in presenza delle navi ormeggiate il coefficiente di riflessione aumenta considerevolmente perché la fiancata della nave riflette quasi completamente le onde incidenti.

Committente 	Progettista 	COMMESSA GC/R2004	UNITA' 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente 100-ZA-E-10017	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 16 di 34	Rev. 02

Riferimento TPIDL: 201969C-RT-3301-004

Per tenere conto di questo aspetto si è imposto alla banchina EST un coefficiente di riflessione pari a 0.9.

Come descritto nel seguito, per valutare l'altezza d'onda incidente sulla nave sono state eseguite delle simulazioni aggiuntive assumendo per la banchina EST un coefficiente di riflessione pari a 0.35.

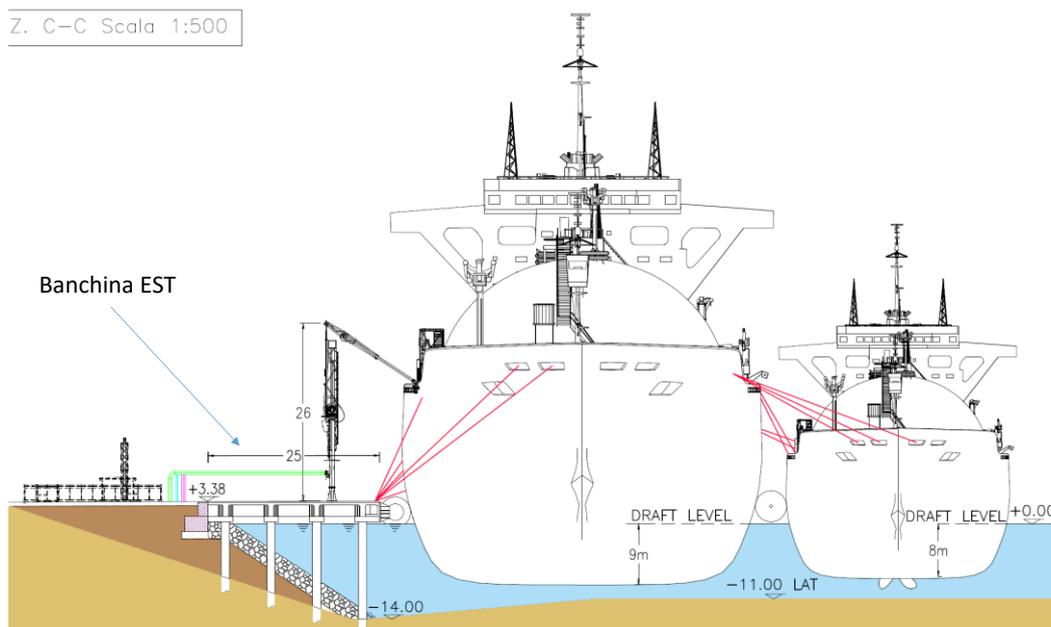


Figura 5-4 - Banchina EST con FSRU ormeggiata

Frangimento del moto ondoso

A causa dei bassi fondali presenti all'esterno e all'interno del porto, il frangimento del moto ondoso indotto dal fondale svolge un ruolo determinante ai fini della penetrazione del moto ondoso nel porto. Ovviamente al diminuire del frangimento aumenta la penetrazione delle onde nel porto.

Nel modello GEMMA il frangimento del moto ondoso è simulato con il criterio di frangimento di Battjes e Janssen (1978) (vedi cap. 7) ed è influenzato dal parametro γ_s il quale può essere utilizzato come parametro di calibrazione.

Il valore standard che viene normalmente utilizzato nelle simulazioni in assenza di misure di campo volte alla calibrazione del fenomeno, è $\gamma_s = 0.88$ tuttavia il parametro può assumere valori compresi tra 0.55 e 0.88 in relazione ai tipi di frangenti che si possono verificare.

A seguito di una serie di simulazioni preliminari che sono state eseguite nell'ambito del presente lavoro, ci si è accorti che nel presente caso la variazione del parametro γ_s influisce in modo considerevole sull'altezza d'onda che si ottiene nella zona di ormeggio della nave.

Per tale ragione si è deciso di fornire i risultati nella zona di ormeggio della nave in relazione ai due valori limiti che definiscono il campo di variabilità del parametro γ_s .

Committente 	Progettista 	COMMESSA GC/R2004	UNITA' 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente 100-ZA-E-10017	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 17 di 34	Rev. 02

Riferimento TPIDL: 201969C-RT-3301-004

Contorni aperti del dominio di calcolo

Per simulare i contorni aperti del dominio di calcolo si è imposta la condizione di totale assorbimento delle onde che fuoriescono dal dominio.

Committente 	Progettista 	COMMESSA GC/R2004	UNITA' 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente 100-ZA-E-10017	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 18 di 34	Rev. 02

Riferimento TPIDL: 201969C-RT-3301-004

6. ANALISI DEI RISULTATI

I risultati delle simulazioni eseguite sono riassunti nella Tabella 6-1 per gli stati di mare provenienti da Maestrale e nella Tabella 6-2 per gli stati di mare provenienti da Ponente.

Le due tabelle riportano nella parte sinistra:

- le “condizioni offshore”, ovvero le caratteristiche degli stati di mare a largo;
- le “condizioni inshore”, ovvero le caratteristiche delle condizioni al contorno utilizzate per le simulazioni eseguite con il modello GEMMA.

Nell’ultima parte a destra di ciascuna tabella sono riportati i risultati ottenuti con il modello GEMMA espressi in termini di altezza d’onda significativa media $(H_s)_Q$ calcolata rispettivamente nelle aree di riferimento A, B e C dove è ormeggiata la FSRU.

Le aree di riferimento A, B, e C (ciascuna di dimensioni 60 m x 125 m) sono indicate nella Figura 6-1.

Le tre aree sono state introdotte poiché all’interno del porto e in particolare lungo la banchina EST si è osservata una sensibile variazione delle H_s .

I risultati riportati nella Tabella 6-1 e nella Tabella 6-2 sono stati ottenuti attribuendo alla banchina EST un coefficiente di riflessione $R=0.9$, ovvero tenendo conto della presenza della FSRU ormeggiata.

Tabella 6-1 – Banchina EST: $R=0.9$ - Maestrale

STATI DI MARE DA MAESTRALE 300°N										
Tr (anni)	Condizioni Offshore			Condizioni Inshore				$(H_s)_Q$ (m)		
	Hs (m)	Tp (s)	Dir (°N)	Hs (m)	Tp (s)	Dir (°N)		Area A	Area B	Area C
2	7.97	11.84	300	5.0	11.0	320.0	min	0.6	0.4	0.4
							max	0.6	0.5	0.5
10	9.67	12.55	300	5.5	11.5	320.0	min	0.3	0.3	0.2
							max	0.4	0.4	0.4
25	10.64	12.91	300	5.8	12.0	320.0	min	0.7	0.4	0.7
							max	1.2	0.7	0.8
50	11.38	13.19	300	6.0	12.0	320.0	min	0.7	0.4	0.4
							max	1.2	0.7	0.8
100	12.12	13.43	300	7.0	12.5	320.0	min	0.4	0.5	0.2
							max	0.6	0.6	0.4

Tabella 6-2 – EST: $R=0.9$ - Ponente

STATI DI MARE DA PONENTE 270°N										
Tr (anni)	Condizioni Offshore			Condizioni Inshore				$(H_s)_Q$ (m)		
	Hs (m)	Tp (s)	Dir (°N)	Hs (m)	Tp (s)	Dir (°N)		Area A	Area B	Area C
2	5.84	10.24	270	2.5	9.2	280.0	min	0.2	0.2	0.4
							max	0.3	0.3	0.7
10	7.44	11.12	270	3.3	9.8	280.0	min	0.1	0.1	0.1
							max	0.4	0.5	0.6
25	8.34	11.56	270	3.5	10.5	280.0	min	0.1	0.2	0.1
							max	0.3	0.4	0.6
50	9.03	11.89	270	3.8	11.0	280.0	min	0.1	0.1	0.1
							max	0.4	0.4	0.6
100	9.71	12.18	270	4.0	11.0	280.0	min	0.1	0.1	0.1
							max	0.5	0.5	0.6

Committente 	Progettista 	COMMESSA GC/R2004	UNITA' 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente 100-ZA-E-10017	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 19 di 34	Rev. 02

Riferimento TPIDL: 201969C-RT-3301-004



Figura 6-1 - Banchina EST - Aree di riferimento per il calcolo dell'altezza d'onda significativa media $(H_s)_Q$.

I valori minimi (min) e massimi (max) riportati nelle tabelle corrispondono alle simulazioni eseguite con i valori del coefficiente di frangimento indotto dal fondale pari a $\gamma_s = 0.88$ e $\gamma_s = 0.55$.

Alle altezze d'onda significative riportate nella tabella si devono attribuire i periodi di picco T_p delle "condizioni inshore" poiché la variazione del periodo di picco spettrale delle onde nel processo di diffrazione è trascurabile.

Per calcolare l'altezza d'onda massima H_{max} da correlare ai valori di H_s riportati in tabella si può applicare la relazione $H_{max} = 1,8 H_s$.

Complessivamente i risultati ottenuti mostrano che vi è una elevata attenuazione del moto ondoso nel bacino portuale.

In generale le condizioni di agitazione ondosa peggiori si ottengono con le mareggiate provenienti da Maestrale.

La presenza di bassi fondali prospicienti il porto e quindi gli effetti combinati di rifrazione, shoaling e frangimento del moto ondoso rendono molto sensibile la capacità di penetrazione delle onde nel bacino portuale dai tre fenomeni e pertanto si riscontra che la condizione peggiore in termini di agitazione ondosa non è detto che si verifichi con le altezze d'onda H_s maggiori all'esterno del porto.

Con riferimento alla relazione Tecnica del Progetto esecutivo della banchina lato Est del porto industriale di Portovesme redatto nel Luglio del 1999, si riportano nella Tabella 6-3 i valori della H_s ottenuti lungo la banchina in relazione ai tempi di ritorno di 1 anno e di 50 anni. Confrontando questi risultati con quelli riportati nelle precedenti tabelle, si evince chiaramente che i risultati ottenuti nell'ambito del presente studio risultano decisamente inferiori rispetto a quelli previsti in sede di progetto esecutivo.

Committente 	Progettista 	COMMESSA GC/R2004	UNITA' 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente 100-ZA-E-10017	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 20 di 34	Rev. 02

Riferimento TPIDL: 201969C-RT-3301-004

Tabella 6-3 - Condizioni di moto ondoso estreme calcolate lungo la Banchina EST riportate nella Relazione Tecnica del Progetto Esecutivo (1999).

Tempo di ritorno Anni	Banchina Eurallumina		Banchina Ovest				Banchina Est					
	Maestrale Libeccio		Maestrale		Libeccio		Maestrale		Libeccio			
	Hs	Ts	Hs	Ts	Hs	Ts	Hs	Ts	Hs	Ts		
1	1,5	9,5	0,6	7,2	0,4	9,5	0,9	7,2	1,7	9,5	0,2	7,2
50	2,3	11,4	0,9	9,0	0,6	11,14	1,4	9,0	2,5	11,4	0,3	9,0

Per completezza sono state eseguite 10 ulteriori simulazioni, limitatamente agli stati di mare provenienti da maestrale, attribuendo alla banchina Est un coefficiente di riflessione pari a $R=0.35$, ovvero assumendo la FSRU non ormeggiata alla banchina EST. I risultati ottenuti, riportati nella Tabella 6-4, ovviamente mostrano una riduzione delle Hs in banchina.

Tabella 6-4 - Banchina EST: $R=0.35$ - Maestrale

Tr (anni)	STATI DI MARE DA MAESTRALE 300°N									
	Condizioni Offshore			Condizioni Inshore				$(H_s)_Q = \overline{H_s} + \alpha * \sigma(H_s)$		
	Hs (m)	Tp (s)	Dir (°N)	Hs (m)	Tp (s)	Dir (°N)		Area A	Area B	Area C
2	7.97	11.84	300	5.0	11.0	320.0	min	0.3	0.2	0.1
							max	0.5	0.4	0.2
10	9.67	12.55	300	5.5	11.5	320.0	min	0.1	0.1	0.1
							max	0.2	0.2	0.1
25	10.64	12.91	300	5.8	12.0	320.0	min	0.3	0.3	0.2
							max	0.5	0.4	0.2
50	11.38	13.19	300	6.0	12.0	320.0	min	0.4	0.3	0.2
							max	0.6	0.4	0.3
100	12.12	13.43	300	7.0	12.5	320.0	min	0.2	0.1	0.1
							max	0.2	0.2	0.1

6.1. Calcolo di $(H_s)_Q$ nelle aree di riferimento

Come detto, le aree di riferimento A, B e C presentano una larghezza di 60.0 m e una lunghezza di 125.0 m.

Per ciascuna delle aree di riferimento si è calcolata l'altezza d'onda significativa rappresentativa, definita come $(H_s)_Q$. Tale altezza d'onda è stata definita come segue:

$$(H_s)_Q = \overline{H_s} + \alpha * \sigma(H_s)$$

dove:

- $\overline{H_s}$ è l'altezza d'onda significativa media calcolata sull'area di riferimento;
- $\sigma(H_s)$ è la deviazione standard dei valori di H_s calcolati sull'area di riferimento;
- α è una costante calcolata per ogni area, tale che $(H_s)_Q$ venga superato solo dal 10% dei valori maggiori di H_s calcolati sull'area di riferimento.

Committente 	Progettista 	COMMESSA GC/R2004	UNITA' 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente 100-ZA-E-10017	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 21 di 34	Rev. 02

Riferimento TPIDL: 201969C-RT-3301-004

Sostanzialmente $(H_s)_Q$, essendo superata da un numero limitato di altezze d'onda, rappresenta la popolazione dei valori più elevati delle H_s che si verificano sull'area di riferimento. Si osserva che se l'area di riferimento fosse caratterizzata in tutti i nodi di calcolo del modello di propagazione del moto ondoso utilizzato, da un valore costante di H_s (onde progressive), si otterrebbe: $\sigma(H_s) = 0$ e quindi:

$$(H_s)_Q = \overline{H_s} = H_s \quad \text{HQ}_s = \overline{H_s} = H_s$$

Tuttavia, nelle aree di riferimento (AREA-A, AREA-B e AREA-C) l'altezza d'onda significativa risulta generalmente variabile, sia a causa della variabilità nello spazio delle altezze d'onda che penetrano nel porto, sia a causa della riflessione indotta dalle banchine portuali che generano un moto ondoso parzialmente stazionario. La discretizzazione spaziale utilizzata per applicare il modello numerico di propagazione del moto ondoso GEMMA, è stata operata in modo tale da ottenere, per ciascuna area di riferimento, un numero di nodi di calcolo superiore ad alcune centinaia.

6.2. Risultati ottenuti in forma grafica

Le figure comprese tra Figura 6-2 e Figura 6-6 mostrano i risultati delle simulazioni ottenuti per il settore di Maestrale per i tempi di ritorno di 2, 10, 25, 50 e 100 anni.

Le figure comprese tra Figura 6-7 a Figura 6-11 mostrano gli stessi risultati relativi agli stati di mare provenienti da Ponente.

Le simulazioni riportate di seguito si riferiscono alle simulazioni eseguite con $R=0.9$ e $\gamma_s = 0.55$.

Committente 	Progettista 	COMMESSA GC/R2004	UNITA' 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente 100-ZA-E-10017	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 22 di 34	Rev. 02

Riferimento TPIDL: 201969C-RT-3301-004

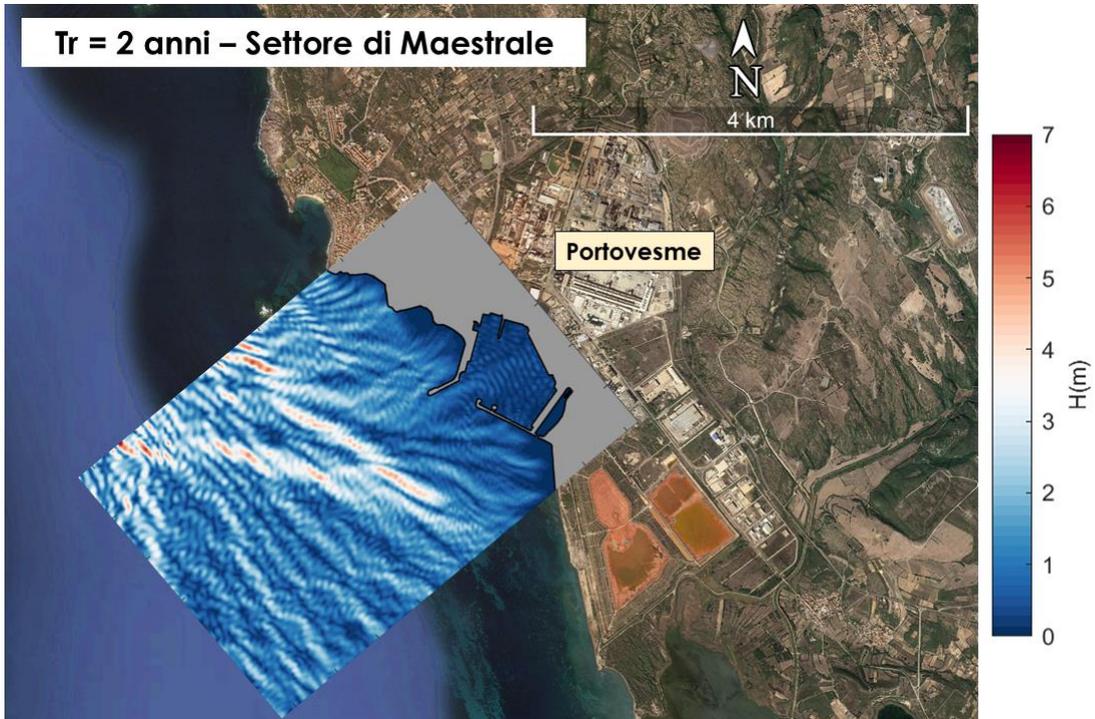


Figura 6-2 Condizioni di moto ondoso incidente relative al $Tr = 2$ anni provenienti dal settore di Maestrale.

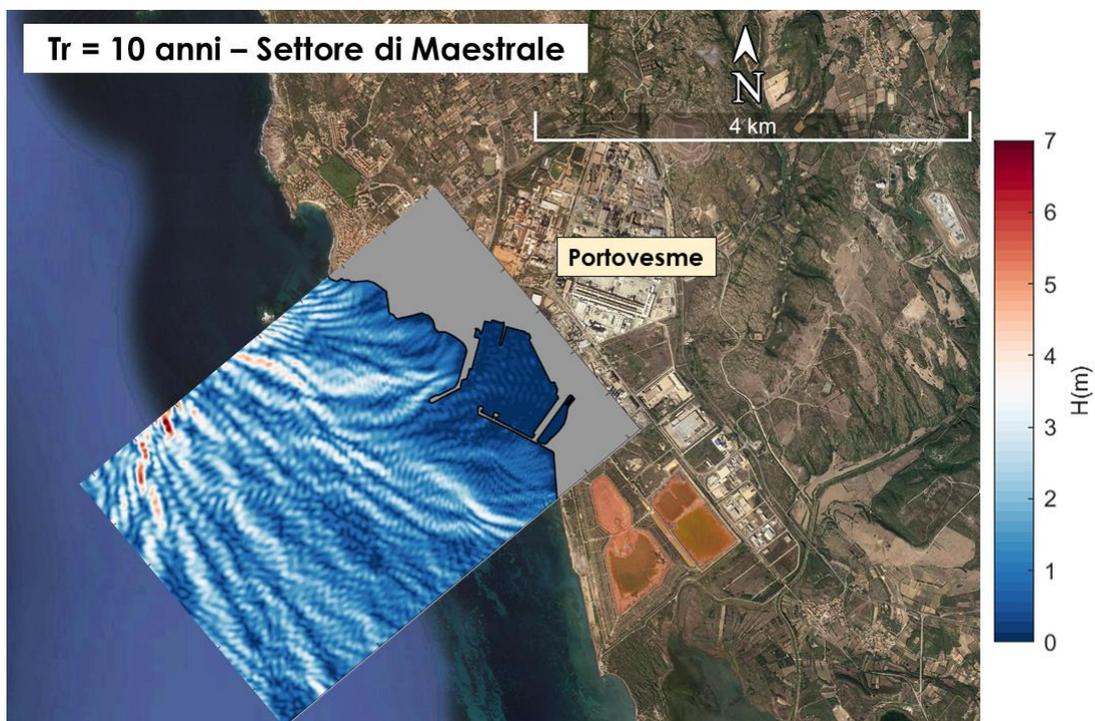


Figura 6-3 Condizioni di moto ondoso incidente relative al $Tr = 10$ anni provenienti dal settore di Maestrale.

Committente 	Progettista 	COMMESSA GC/R2004	UNITA' 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente 100-ZA-E-10017	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 23 di 34	Rev. 02

Riferimento TPIDL: 201969C-RT-3301-004

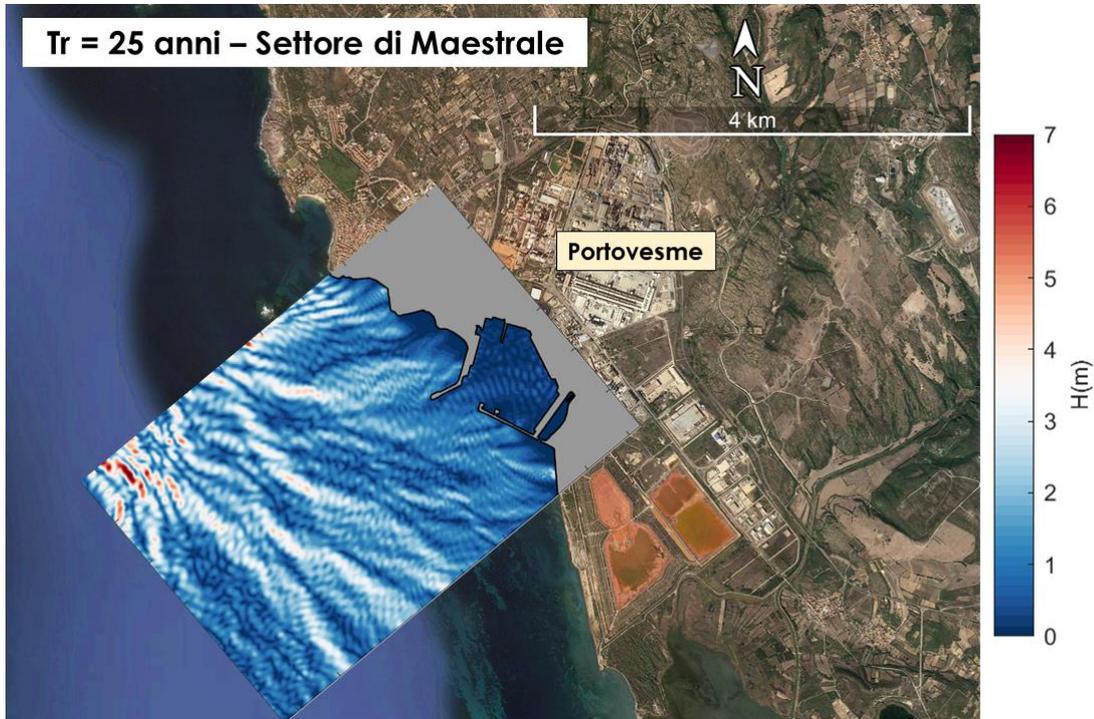


Figura 6-4 Condizioni di moto ondoso incidente relative al $Tr = 25$ anni provenienti dal settore di Maestrale.

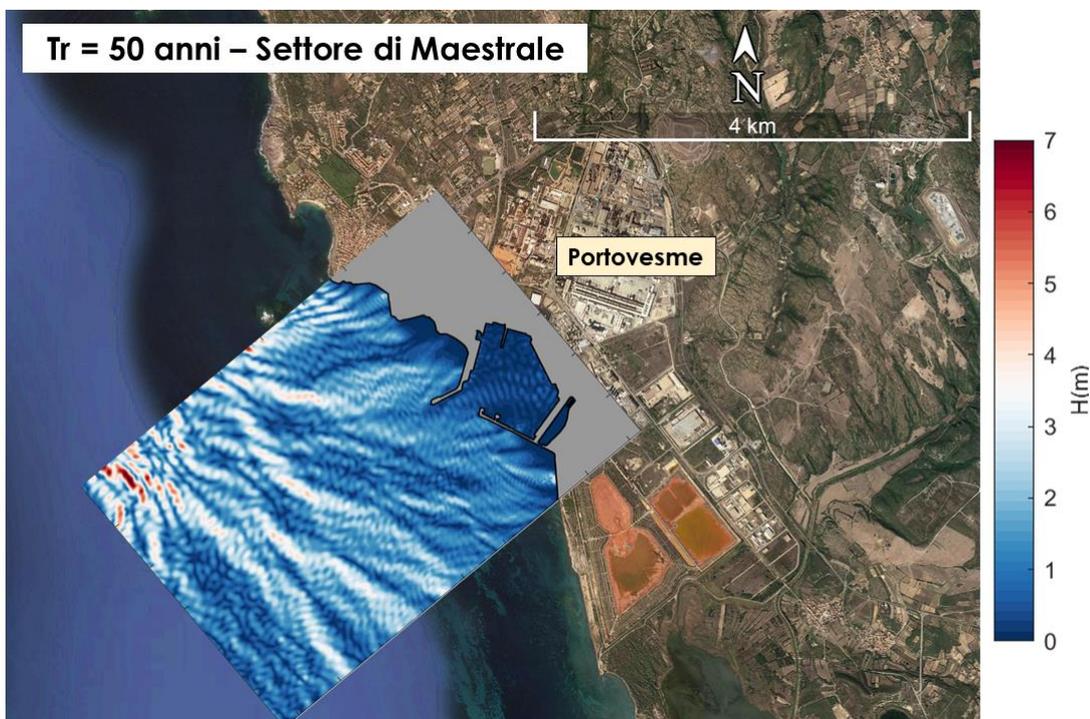


Figura 6-5 Condizioni di moto ondoso incidente relative al $Tr = 50$ anni provenienti dal settore di Maestrale.

Committente 	Progettista 	COMMESSA GC/R2004	UNITA' 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente 100-ZA-E-10017	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 24 di 34	Rev. 02

Riferimento TPIDL: 201969C-RT-3301-004

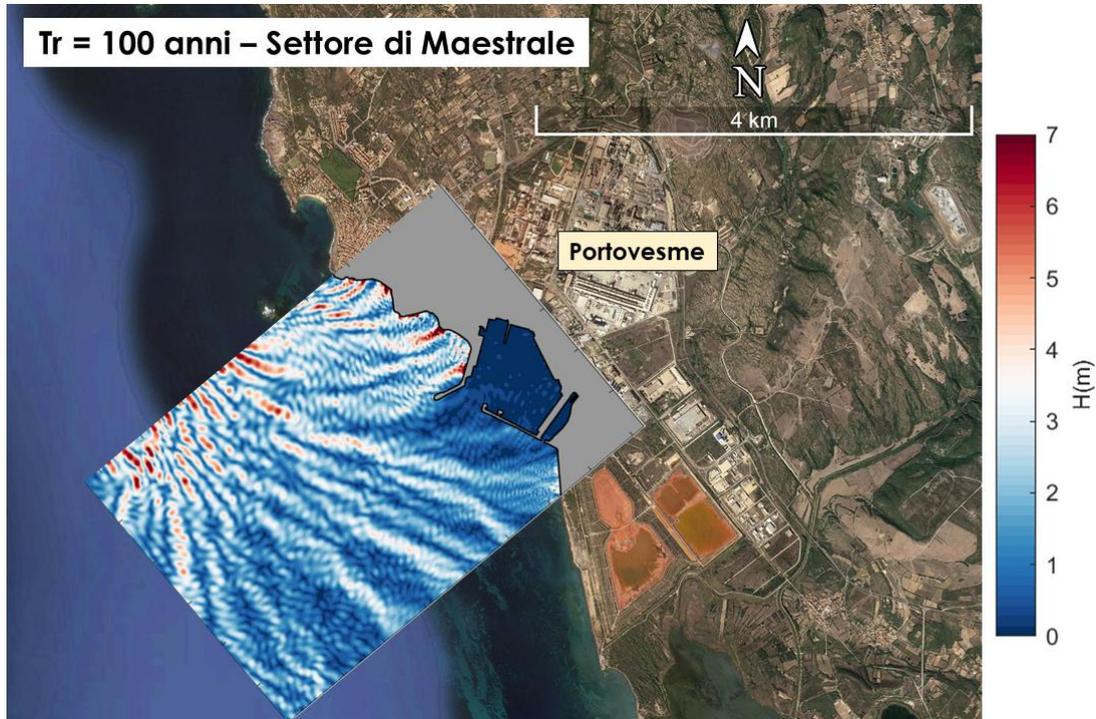


Figura 6-6 Condizioni di moto ondoso incidente relative al $Tr = 100$ anni provenienti dal settore di Maestrale.

Committente 	Progettista 	COMMESSA GC/R2004	UNITA' 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente 100-ZA-E-10017	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 25 di 34	Rev. 02

Riferimento TPIDL: 201969C-RT-3301-004

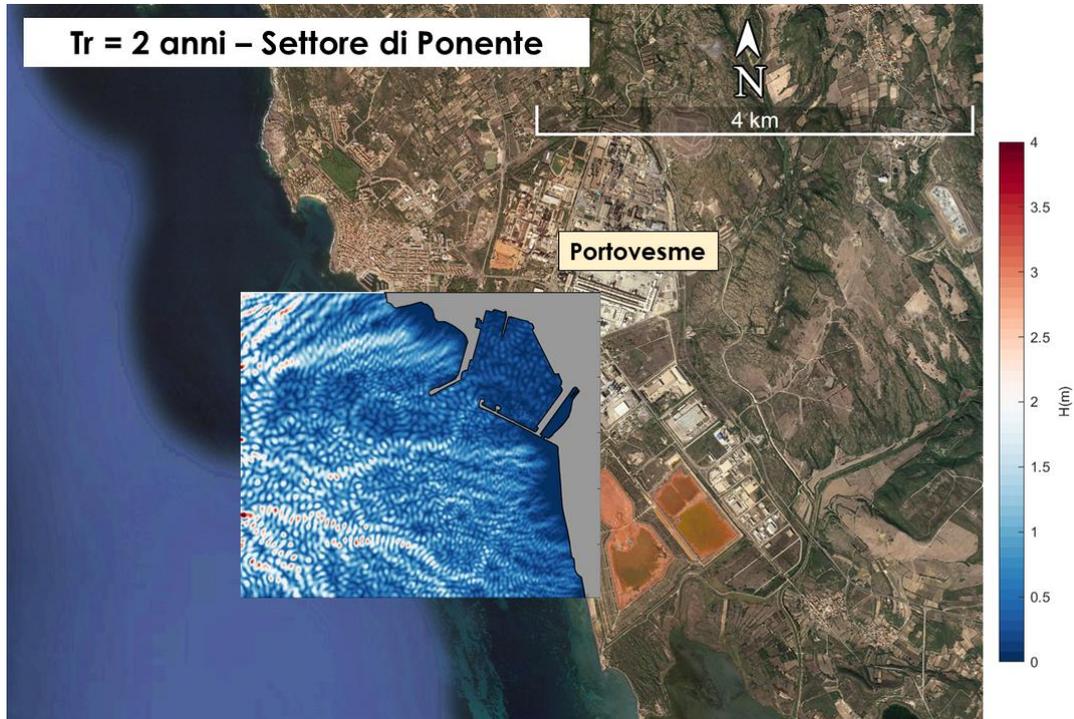


Figura 6-7 Condizioni di moto ondoso incidente relative al $Tr = 2$ anni provenienti dal settore di Ponente.

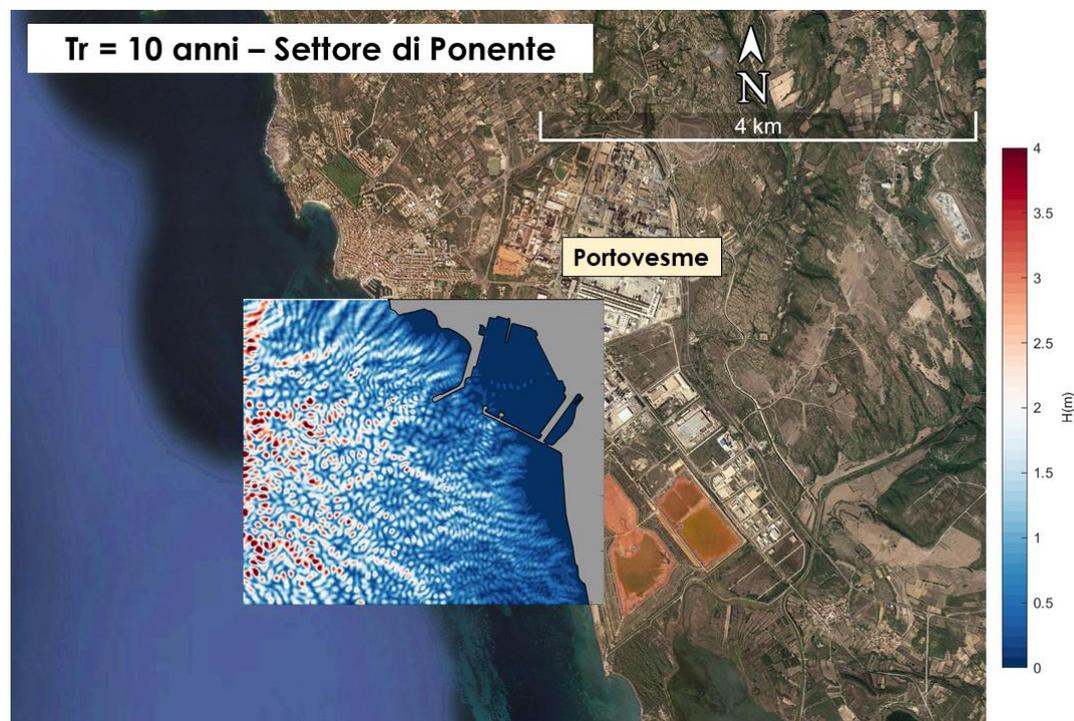


Figura 6-8 Condizioni di moto ondoso incidente relative al $Tr = 10$ anni provenienti dal settore di Ponente.

Committente 	Progettista 	COMMESSA GC/R2004	UNITA' 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente 100-ZA-E-10017	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 26 di 34	Rev. 02

Riferimento TPIDL: 201969C-RT-3301-004

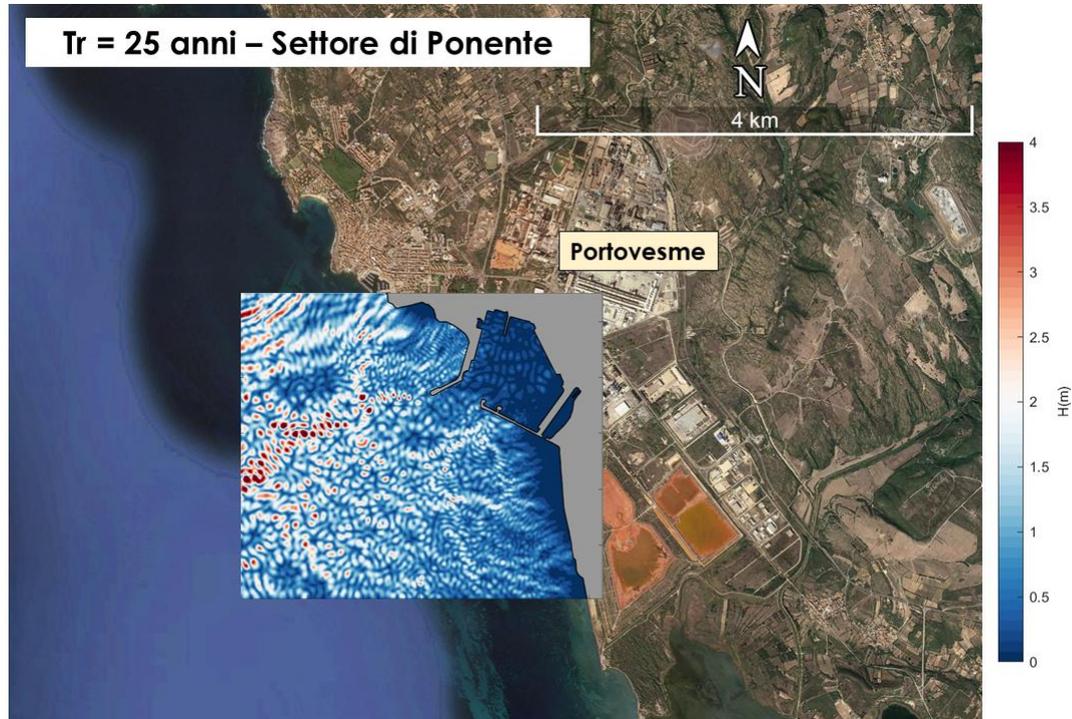


Figura 6-9 Condizioni di moto ondoso incidente relative al $Tr = 25$ anni provenienti dal settore di Ponente.

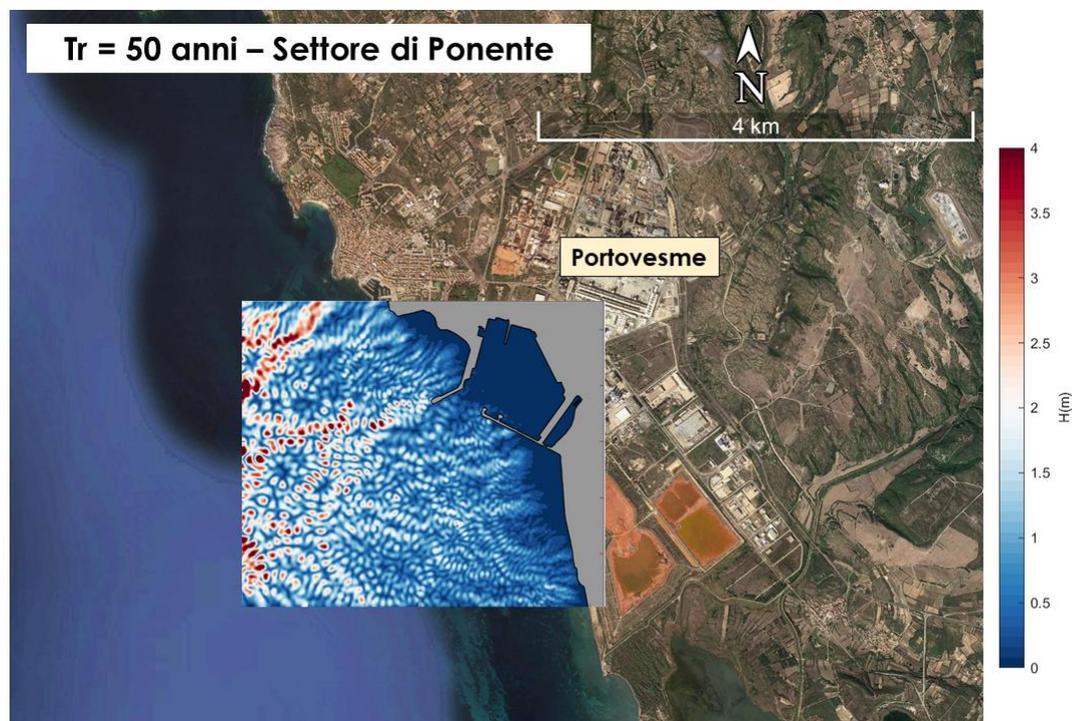


Figura 6-10 Condizioni di moto ondoso incidente relative al $Tr = 50$ anni provenienti dal settore di Ponente.

Committente 	Progettista 	COMMESSA GC/R2004	UNITA' 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente 100-ZA-E-10017	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 27 di 34	Rev. 02

Riferimento TPIDL: 201969C-RT-3301-004

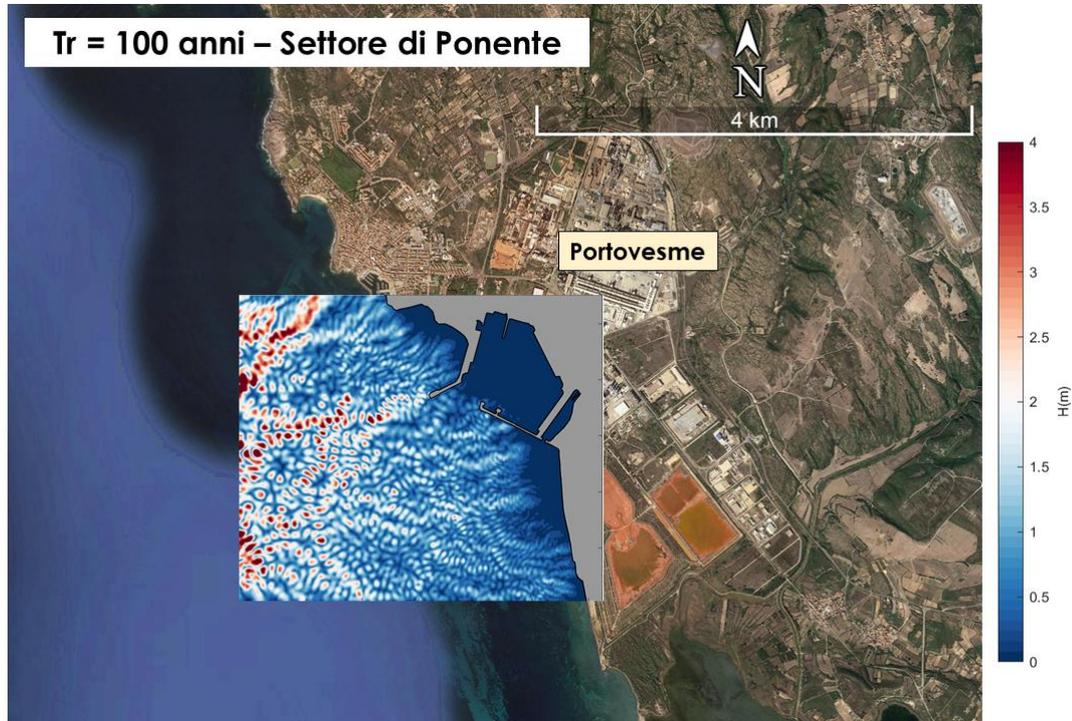


Figura 6-11 Condizioni di moto ondoso incidente relative al $Tr = 100$ anni provenienti dal settore di Ponente.

Committente 	Progettista 	COMMESSA GC/R2004	UNITA' 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente 100-ZA-E-10017	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 28 di 34	Rev. 02

Riferimento TPIDL: 201969C-RT-3301-004

7. Descrizione sintetica del modello numerico GEMMA

Si riporta di seguito la descrizione sintetica del codice agli elementi finiti GEMMA. Il codice è particolarmente adatto per studiare la penetrazione del moto ondoso nei bacini portuali e problemi di risonanza portuale.

I principali articoli scientifici che descrivono il codice di calcolo sono riportati nei riferimenti bibliografici. In particolare la descrizione di GEMMA è fornita da De Girolamo et al (1998), Beltrami et al. (1998), Beltrami et al (2001) e Bellotti et al. (2003).

Il codice risolve l'equazione detta di "mild-slope" (Berkhoff, 1972) estesa da De Girolamo et al. (1988) per tenere conto del frangimento del moto ondoso. L'equazione descrive la propagazione di onde periodiche lineari e tiene conto dei fenomeni combinati di rifrazione, shoaling, riflessione e diffrazione di stati di mare con energia dispersa in frequenza e direzione.

L'equazione risolta dal codice di calcolo è la seguente:

$$\nabla \cdot (cc_g \nabla \eta) + cc_g (k^2 + ik\gamma) \eta = 0 \quad (1)$$

dove:

- i è l'unità immaginaria,
- c e c_g sono le celerità di fase e di gruppo,
- k è il numero d'onda,
- η è l'elevazione complessa della superficie libera
- il termine $ik\gamma$ introduce dissipazioni di energia.

La (1) è una equazione differenziale a derivate parziali del secondo ordine di tipo ellittico. La soluzione dell'equazione fornisce la soluzione stazionaria del problema. Per risolvere l'equazione bisogna porre opportune condizioni al contorno su tutta la frontiera del dominio.

Il codice di calcolo GEMMA risolve la (1) mediante la tecnica numerica degli elementi finiti utilizzando un reticolo di calcolo non strutturato, costituito da elementi di forma triangolare. In questo modo è possibile seguire contorni con geometria comunque complessa ed infittire la griglia di calcolo su basse profondità dove la lunghezza d'onda si riduce.

Al dominio d'integrazione si applicano condizioni al contorno di tipo riflessione-assorbimento, le quali sono utilizzate per riprodurre coste o opere marittime, caratterizzate da coefficienti di riflessione variabili nello spazio.

Lungo il contorno di largo dove si impongono le caratteristiche delle onde incidenti, si applica la condizione di radiazione che impone che l'energia "riflessa" dal campo che si propaga verso il largo attraversi i contorni di generazione e venga assorbita.

Le condizioni al contorno nel codice sono espresse tramite l'imposizione di coefficienti di riflessione R variabili all'interno dell'intervallo chiuso $[0, 1]$.

Committente 	Progettista 	COMMESSA GC/R2004	UNITA' 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente 100-ZA-E-10017	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 29 di 34	Rev. 02

Riferimento TPIDL: 201969C-RT-3301-004

La condizione di riflessione-assorbimento è esprimibile tramite la seguente espressione:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial n} + \alpha \varphi = 0 \quad (2)$$

dove φ rappresenta il potenziale complesso della velocità, composto dalla componente incidente e da quella riflessa.

Nel caso in cui α risulti nullo si è in presenza di una condizione di totale riflessione (contorno impermeabile).

In generale α è il coefficiente di riflessione complesso ed è espresso dalla relazione:

$$\alpha = \alpha_1 + i\alpha_2 \quad (3)$$

dove α_1 e α_2 risultano funzione dell'angolo di incidenza (δ) delle onde sul contorno in esame e dello sfasamento (ε) tra l'onda incidente e quella riflessa che dipende dalla natura fisica del contorno:

$$\alpha_1 = -\frac{2kR \cos(\delta) \sin(\varepsilon)}{1+R^2+2R\cos(\varepsilon)}, \quad \alpha_2 = -\frac{k(R^2-1) \cos(\delta)}{1+R^2+2R\cos(\varepsilon)} \quad (4)$$

Poiché all'interno del dominio di calcolo l'angolo di incidenza delle onde (δ) sul contorno non è noto, il problema diventa non lineare e di conseguenza risulta necessario trovare la soluzione mediante una tecnica iterativa.

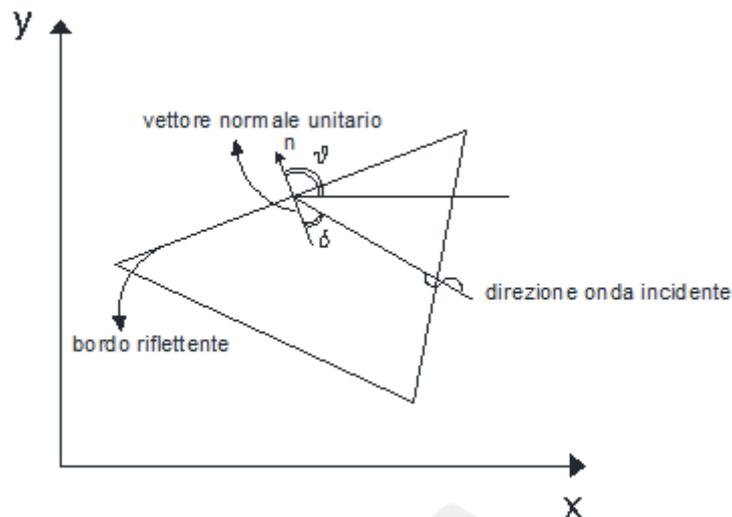


Figura 7-1 Rappresentazione dell'i-esimo elemento di maglia.

In generale il termine iky nella (1), consente di simulare dissipazioni di energia ed in particolare il frangimento del moto ondoso. Nel modello viene simulato il frangimento mediante il modello di Battjes e Janssen (1979) utilizzando la tecnica introdotta da De Girolamo et al. (1988).

A tal fine nella (1) γ viene espresso nel seguente modo:

Committente 	Progettista 	COMMESSA GC/R2004	UNITA' 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente 100-ZA-E-10017	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 30 di 34	Rev. 02

Riferimento TPIDL: 201969C-RT-3301-004

$$\gamma = \frac{\alpha}{\pi c_g} \omega Q_b \frac{1}{b^2} \quad (5)$$

dove α è una costante di calibrazione, mentre Q_b , che esprime la probabilità che in un particolare punto del campo venga raggiunto il valore massimo di altezza d'onda H_m , deve essere calcolato risolvendo la relazione implicita:

$$Q_b = \exp[-(1 - Q_b) / b^2] \quad (6)$$

dove b è espresso dalla seguente relazione:

$$b = \frac{H}{\sqrt{2}} \frac{1}{H_m} \quad (7)$$

nella quale H è l'altezza d'onda significativa locale (coincidente con la H_s) e H_m è il valore massimo dell'altezza d'onda limitata per frangimento dal fondale, espresso mediante la seguente relazione:

$$H_m = \frac{2\pi\gamma_d}{k} \tanh\left(\frac{\gamma_s}{2\pi\gamma_d} kh\right) \quad (8)$$

dove γ_d e γ_s rappresentano rispettivamente i parametri di frangimento in acqua profonda e in acqua bassa.

Il fattore di dissipazione γ è una funzione crescente con l'altezza d'onda e dunque introduce una non linearità nel problema.

Per risolvere questo tipo di non linearità, nel modello è stata implementata la tecnica numerica iterativa proposta da De Girolamo et al. (1988) che garantisce la convergenza della soluzione.

Committente 	Progettista 	COMMESSA GC/R2004	UNITA' 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente 100-ZA-E-10017	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 31 di 34	Rev. 02

Riferimento TPIDL: 201969C-RT-3301-004

8. Riferimenti bibliografici

- Berkhoff, J.C.W., (1972), "Computation of combined refraction-diffraction", Proc., 13th Int. Conf. On Coast. Eng., ASCE, New York, 471-490.
- Battjes, J.A. and Janssen, J.P.F.M., (1979). Energy loss and set-up due to breaking of random waves, Proc. 16th Int. Conf. Coastal Engineering, ASCE, New York.
- De Girolamo, P., Kostense, J.K., Dingemans, M.W. (1988), "Inclusion of wave breaking in a mild slope model", Proc. Int. Con. Computer model in Ocean Eng., Schrefler & Zienkiewicz, Balkema, Rotterdam, the Netherlands.
- ADAMI A., DE GIROLAMO P, NOLI A., VENUTI A. (1995). Harbour resonance induced by incident irregular short waves. EXCERPTA OF THE ITALIAN CONTRIBUTIONS TO THE FIELD OF HYDRAULIC ENGINEERING, vol. 9, ISSN: 0394-526X 1995.
- De Girolamo P, Noli A (1995). Oscillazioni di lungo periodo e fenomeni di sovrizzo del livello idrico all'interno di porti turistici. In: Atti delle Giornate Italiane di Ingegneria Costiera, AIPCN-PIANC Ravenna 1995. Ravenna 1994
- De Girolamo P (1996). An experiment on harbour resonance induced by incident regular waves and irregular short waves. COASTAL ENGINEERING, vol. 27, p. 47-66, ISSN: 0378-3839, doi: 10.1016/0378-3839(95)00039-9 1996
- DE GIROLAMO P, REPACI G. (1996). Sub-armoniche associate a stati di mare irregolari monodirezionali e polidirezionali. L'ENERGIA ELETTRICA, vol. 73, ISSN: 0013-7308 1996
- BELTRAMI G M, DE GIROLAMO P, BELLOTTI G, SAMMARCO P (1998). Un modello numerico agli elementi finiti per la risoluzione della 'Mild slope equation' con l'inclusione di un termine dissipativo. In: Atti del XXVI Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Catania, 1998.
- Beltrami, G.M., Bellotti, G., De Girolamo, P. and Sammarco, P. (2001) "Treatment of Wave Breaking and Total Absorption in a Mild-slope Equation FEM model", Jour. Of Waterway, Port, Coastal and ocean Eng., ASCE, Sept.-Oct. 2001, pp. 263-271.
- Bellotti, G., Beltrami, G.M., and De Girolamo, P. (2003), "Internal generation of waves in 2D fully elliptic mild-slope equation FEM models", Coastal Engineering, 49 (2003) pp. 71-81.

Committente 	Progettista 	COMMESSA GC/R2004	UNITA' 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente 100-ZA-E-10017	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 32 di 34	Rev. 02

Riferimento TPIDL: 201969C-RT-3301-004

9. Allegato 1

Nel presente allegato si riportano i risultati grafici delle simulazioni inerenti lo studio di agitazione interna portuale, ponendo particolare attenzione ai risultati ottenuti all'interno del bacino portuale.

Il campo d'onda presentato nei seguenti grafici è stato ottenuto considerando il coefficiente di frangimento γ_s pari a 0.88. Insieme ai valori di altezza d'onda si riportano le direzioni del moto ondoso.

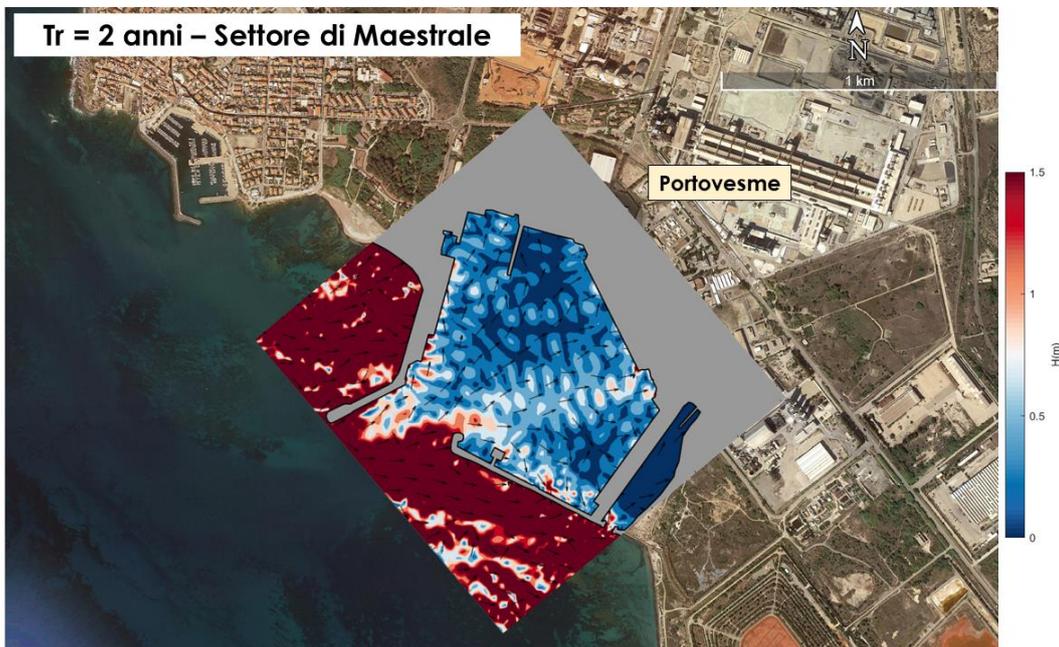


Figura 9-1 - Condizioni di moto ondoso incidente relative al $Tr = 2$ anni provenienti dal settore di Maestrale.

Committente 	Progettista 	COMMESSA GC/R2004	UNITA' 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente 100-ZA-E-10017	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 33 di 34	Rev. 02

Riferimento TPIDL: 201969C-RT-3301-004

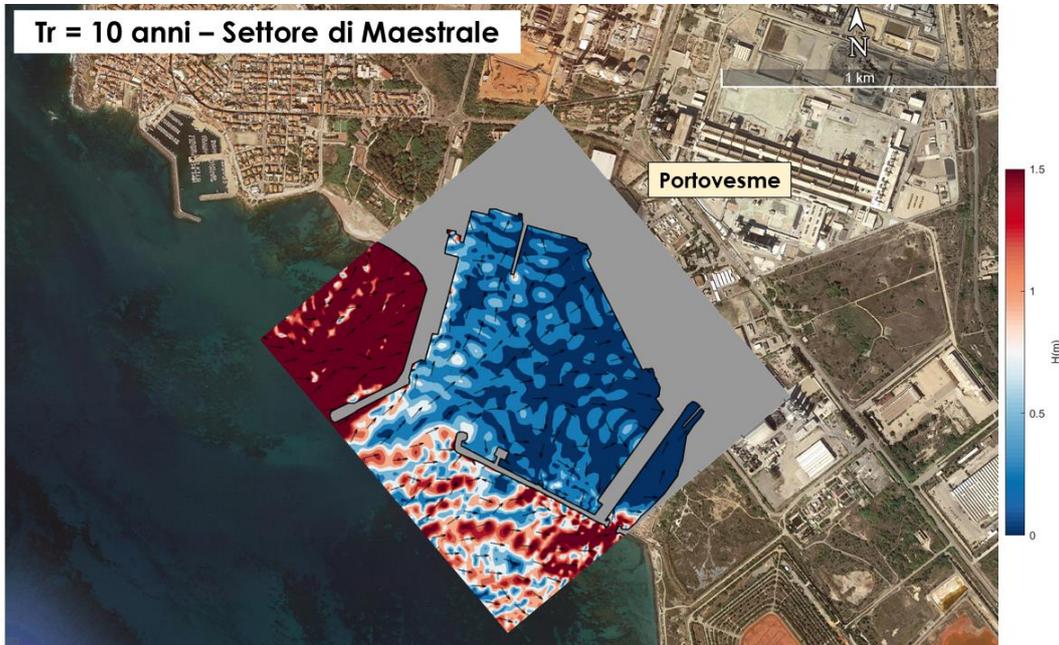


Figura 9-2 - Condizioni di moto ondoso incidente relative al $Tr = 10$ anni provenienti dal settore di Maestrale.

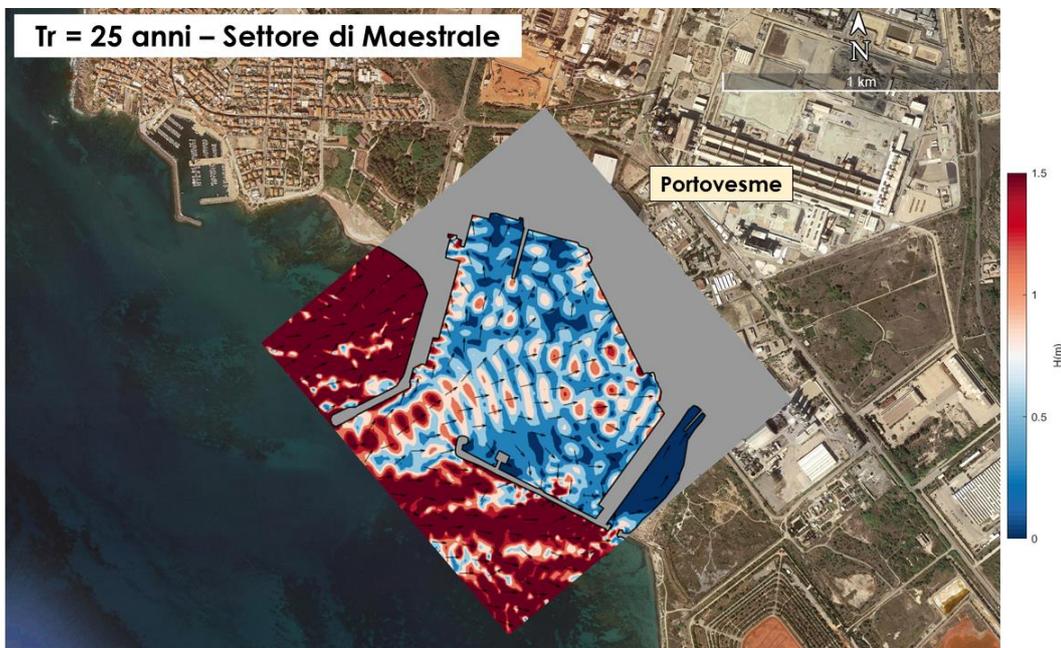


Figura 9-3 - Condizioni di moto ondoso incidente relative al $Tr = 25$ anni provenienti dal settore di Maestrale.

Committente 	Progettista 	COMMESSA GC/R2004	UNITA' 001
	Località PORTOVESME (SU)	Riferimento Committente 100-ZA-E-10017	
	Progetto / Impianto TERMINALE DI PORTOVESME	Pag. 34 di 34	Rev. 02

Riferimento TPIDL: 201969C-RT-3301-004

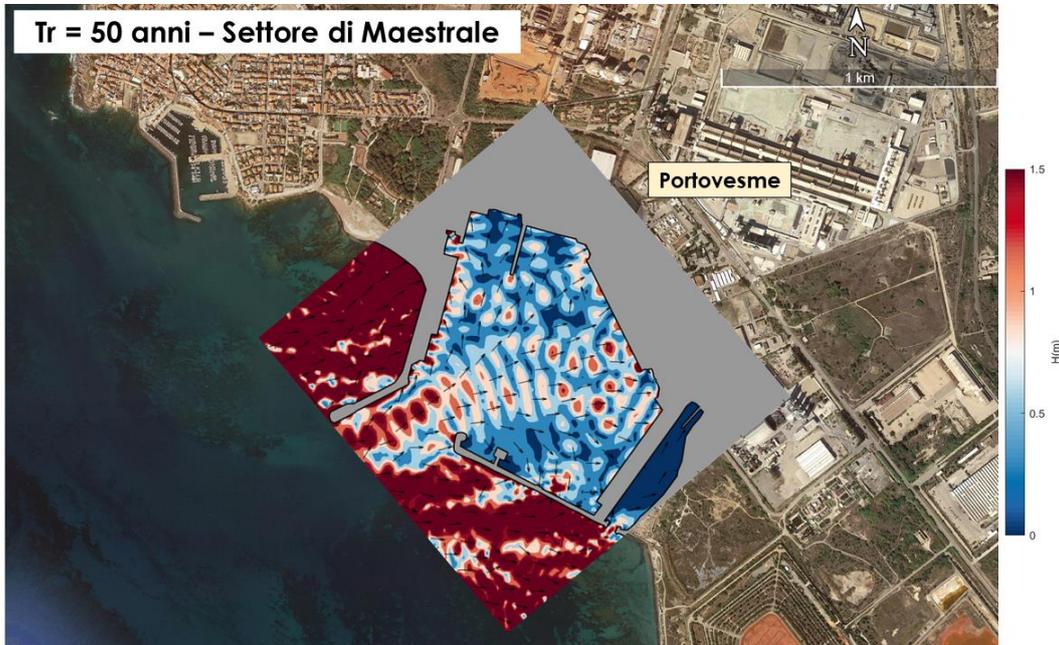


Figura 9-4 - Condizioni di moto ondoso incidente relative al $Tr = 50$ anni provenienti dal settore di Maestrale.

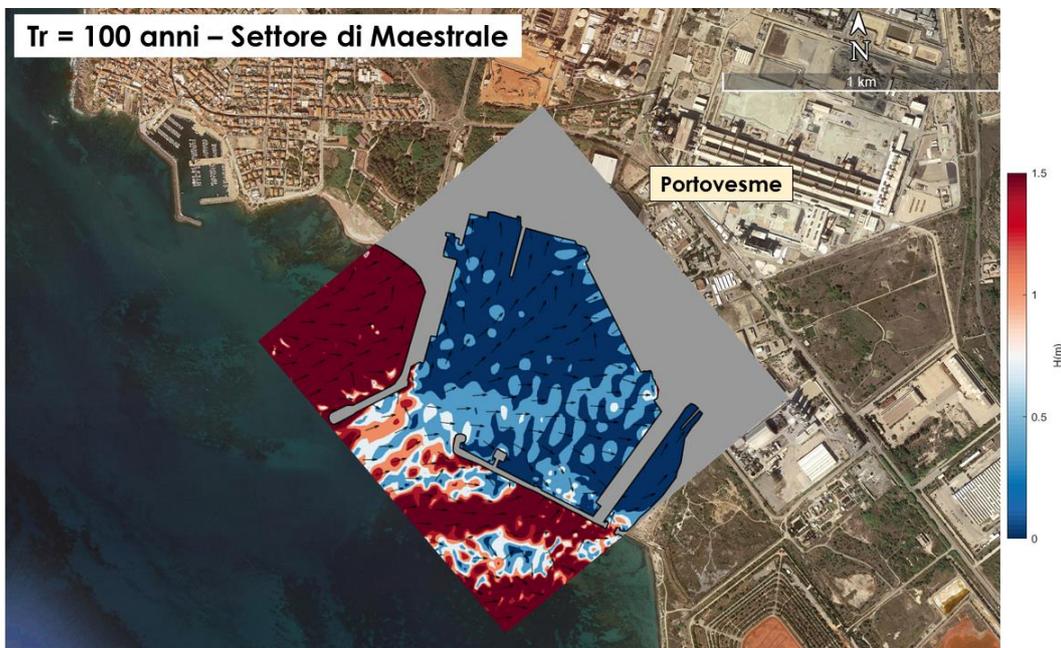


Figura 9-5 - Condizioni di moto ondoso incidente relative al $Tr = 100$ anni provenienti dal settore di Maestrale.