

REGIONE SICILIANA

ASSESSORATO DELLE INFRASTRUTTURE E DELLA MOBILITA'
DIPARTIMENTO DELLE INFRASTRUTTURE DELLA MOBILITA'

ISOLA DI SALINA (MESSINA) COMUNE DI MALFA

LAVORI DI RIQUALIFICA E DI ADEGUAMENTO DELLE OPERE FORANEE, DELLE BANCHINE, DELLO SCALO DI ALAGGIO E DEI FONDALI DELL' APPRODO DI SCALO GALERA

LAVORI DI RIUNIONE DEL 1° STRALCIO E DI QUELLO DI COMPLETAMENTO

PROGETTO ESECUTIVO ESITATO CON PARERE FAVOREVOLE IN LINEA TECNICO DALLA
COMMISSIONE REGIONALE LL.PP. NELLE ADUNANZE DEL 04.12.2019 E 17.12.2019
FINANZIATO CON DDG N.4310 DEL 15.12.2020 DIPARTIMENTO DELLE INFRASTRUTTURE E DELLA MOBILITÀ.
CUP: J84B04000190006 CIG:8451919832

- **Importo complessivo:** € 19.220.000,00;
- **Importo a base d'asta:** €15.500.000,00 oltre €400.000,00 per attuazione oneri di sicurezza.
- **Importo contrattuale:** €12.180.000,00
- **Impresa esecutrice dei lavori:** R.T.I. Consorzio Stabile INFRA.TECH.S.R.L. (mandataria) - Stone Società Cooperativa (mandante) - Franco Giuseppe S.R.L. (mandante) - Zeta S.R.L. (mandante);
- **Aggiudicazione efficace:** Determinazione U.T. n.157/2021 e
Reg. Gen.le n.268 del 18.05.2021;
- **Contratto:** Rep. N. 5 del 09.09.2021 – Comune di Malfa – Registrato presso l'Ufficio Territoriale dell'Agenzia delle Entrate di Messina – Serie IT n.15001 del 14.09.2021;
- **Consegna dei lavori:** 24 Maggio 2021
- **Ultimazione lavori:** 25 Novembre 2022



PERIZIA DI VARIANTE E SUPPLETIVA PER L'ADEGUAMENTO DELLE INFRASTRUTTURE PORTUALI ALLE SOPRAVVENUTE ESIGENZE DI PROTEZIONE CIVILE COMUNALE CON CONTESTUALE SALVAGUARDIA DEGLI HABITAT MARINI E TERRESTRI DI INTERESSE CONSERVAZIONISTICO

P.V.S. - All. 1.8 - Studio di raffronto della penetrazione del moto ondoso

PALERMO: 15.06.2022

IL RUP

Geom. Arturo Ciampi

IL SUPPORTO AL RUP

Ing. Angelo Mistretta

IL SINDACO

Dott.ssa Clara Rametta

IL DIRETTORE DEI LAVORI

Ing. Francesco Giordano

Via della libertà n.201/a

90143 Palermo

Pec: francesco.giordano@pec.it

Email: ingfrancescogiordano@gmail.com

con la collaborazione di

Sigma Ingegneria S.r.l.

Email: sigmaingsrl@gmail.com

Sommario

Indice delle Figure.....	2
1 INTRODUZIONE.....	4
2 STUDIO DI AGITAZIONE INTERNA.....	15

Indice delle Figure

Figura 1 - Esempio di una recente mareggiata avvenuta nel periodo invernale presso il porto di scalo galera	5
Figura 2 - Nave cisterna che rifornisce quasi giornalmente l'abitato di Malfa (ME) ormeggiata in andana (all'ancora) sul posidonieto.....	6
Figura 3 - Planimetria progetto esecutivo in corso di realizzazione	8
Figura 4 - Ortofoto dello stato del porto di Scalo Galera prima dell'inizio dei lavori con la nave cisterna ormeggiata in andana	9
Figura 5 - Layout proposta di variante	12
Figura 6 - raffronto opera proposta in variante con impronta opera prevista nel progetto esecutivo 2019	13
Figura 7 - Posizione di Salina nel Mar Tirreno Meridionale .	15
Figura 8 - Posizione del Porto di Scalo Galera nell'Isola di Salina	16
Figura 9 - Particolare porto di Scalo Galera pre-interventi.	16
Figura 10 - simulazione di penetrazione del moto ondoso con indicazione dei punti di controllo selezionati.....	17
Figura 11 - Schema dominio CGWAVE.....	20
Figura 12 - Schema della Mesh di calcolo	23
Figura 13 - Configurazione variante - Tr = 3 anni - dir di provenienza a largo 22.5 °N.....	25
Figura 14 - Configurazione variante - Tr = 3 anni - dir di provenienza a largo 45 °N.....	26
Figura 15 - Configurazione variante - Tr = 3 anni - dir di provenienza a largo 67.5 °N.....	27
Figura 16 - Configurazione variante - Tr = 3 anni - dir di provenienza a largo 315 °N	28
Figura 17 - Configurazione variante - Tr = 3 anni - dir di provenienza a largo 337.5 °N.....	29
Figura 18 - Configurazione variante - Tr = 3 anni - dir di provenienza a largo 360 °N	30
Figura 19 - Configurazione Progetto- Tr = 3 anni - dir di provenienza a largo 22.5 °N.....	31

Figura 20 - Configurazione Progetto- Tr = 3 anni - dir di provenienza a largo 45 °N.....	32
Figura 21 - Configurazione Progetto- Tr = 3 anni - dir di provenienza a largo 67.5 °N.....	33
Figura 22 - Configurazione Progetto- Tr = 3 anni - dir di provenienza a largo 315 °N.....	34
Figura 23 - Configurazione Progetto- Tr = 3 anni - dir di provenienza a largo 337.5 °N	35
Figura 24 - Configurazione Progetto- Tr = 3 anni - dir di provenienza a largo 360 °N.....	36

1 INTRODUZIONE

Il progetto per i "Lavori di riqualifica e di adeguamento delle opere foranee, delle banchine, dello scalo di alaggio e dei fondali dell'approdo di Scalo Galera" è finalizzato a risolvere la condizione di insicurezza del porto di Malfa (Isola di Salina), consentendo inoltre uno sviluppo sostenibile delle attività economiche del Comune.

A seguito di un lungo e complesso iter autorizzativo e realizzativo, dopo due precedenti affidamenti dei lavori ad imprese entrambi terminati con rescissione contrattuale, l'aggiudicazione efficace della gara d'appalto è avvenuta in data 18/05/2021 al consorzio stabile INFRA.TECH s.c.a.r.l. e la consegna dei lavori è avvenuta in data 24/05/2021.

Durante il corso dei lavori si sono manifestate delle interferenze tra le attività portuali, i lavori in corso di esecuzione e l'ormeggio della nave cisterna all'andana nelle aree antistanti l'imboccatura del porto, causando anche disfunzioni alle attività di scarico delle acque potabili presso il serbatoio comunale.

La Società armatrice ha richiesto all'amministrazione comunale la possibilità di individuare delle soluzioni volte a mitigare tali interferenze.

Per risolvere tali problematiche l'amministrazione comunale ha richiesto al Direttore dei Lavori la possibilità di predisporre una variante al progetto esecutivo contrattualizzato volta a risolvere le problematiche di cui sopra. In particolare, il comune di Malfa, con nota prot. 8611 del 27/08/2021, ha richiesto al Direttore dei Lavori, anche di tenere conto delle problematiche **"dovute anche all'intralcio ed alle interferenze delle navi cisterna che approvigionano quotidianamente i Comuni eoliani di acqua potabile. Infatti, le navi, che sono costrette ad ormeggiare nello specchio acqueo antistante l'imboccatura del porto, oltre a penalizzare l'operatività della realizzanda opera foranea, arrecano, attraverso l'ormeggio con le proprie ancore, danni all'ecosistema marino che, proprio in prossimità dell'area di posizionamento delle stesse, è costituito dalla preziosissima posidonia oceanica"**. Di conseguenza, il comune di Malfa ha chiesto al Direttore dei Lavori di elaborare una variante al progetto "volta a risolvere le seguenti problematiche: ► **Migliorare le condizioni di ormeggio delle navi cisterna mitigando le attuali interferenze con**

l'ecosistema marino; ► Migliorare l'operatività del nuovo bacino portuale anche in relazione allo stato di ridosso dello specchio acqueo in presenza di mareggiate, consentendo una operatività del bacino portuale continuativa, anche nel periodo invernale”.



Figura 1 - Esempio di una recente mareggiata avvenuta nel periodo invernale presso il porto di scalo galera

Il Direttore dei Lavori, accogliendo la richiesta formulata dal comune di Malfa, ha pertanto provveduto a elaborare una variante al progetto.

Tale variante migliora estremamente il funzionamento dell’opera stessa in fase d’esercizio limitando ulteriormente lo stato di agitazione dello specchio acqueo del bacino portuale ridossato dalle nuove opere, con un’altezza d’onda massima che passa da oltre 1.50 m a meno di 0.70 m all’imboccatura del porto, mentre in corrispondenza delle banchine destinate all’ormeggio le altezze d’onda presentano riduzioni che in alcuni casi superano il 90%, **rendendo pertanto utilizzabile il porto anche nella stagione invernale** durante la quale il paraggio di Scalo Galera è investito da mareggiate di forte intensità.

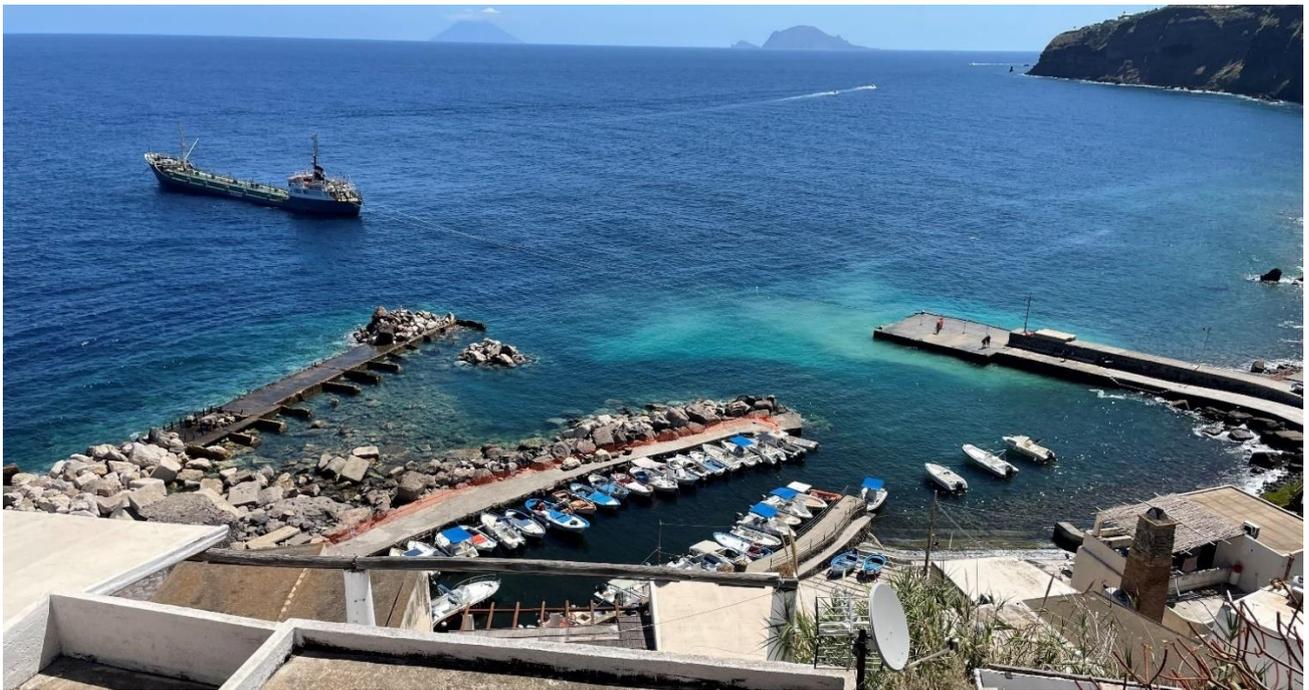


Figura 2 - Nave cisterna che rifornisce quasi giornalmente l'abitato di Malfa (ME) ormeggiata in andana (all'ancora) sul posidonieto

Allo stesso tempo, **la variante di cui trattasi, permette nel complesso un minor impatto ambientale in fase d'esercizio dell'opera**, poiché offre alla nave cisterna che approvvigiona l'isola per più di 80 giorni l'anno, un approdo in banchina con ormeggio su bitte, limitando drasticamente l'ormeggio in andana all'imboccatura del porto con conseguente salvaguardia della prateria di posidonia oceanica e di altre biocenosi presenti nella zona dove ad oggi getta l'ancora la nave, **oltre che una riduzione delle interferenze col porto**. Infatti la nave attualmente si posiziona, durante le operazioni di scarico delle acque, per 12-18 ore in corrispondenza dell'imboccatura del porto, intralciando notevolmente le manovre di accesso e uscita dei natanti.

Si sottolinea inoltre che **lo scenario di base** (cioè lo stato delle componenti ambientali a Scalo Galera) **non ha subito variazioni rispetto a quello già analizzato nello Studio del 2017 già oggetto di parere ambientale, mentre l'impatto ambientale atteso sarà** (in fase di esercizio), **nel complesso, positivo** come meglio evidenziato negli elaborati relativi agli studi ambientali.

DESCRIZIONE SINTETICA DELLA PROPOSTA DI VARIANTE

Il progetto esecutivo del 2019 per i lavori di messa in sicurezza del porto di Scalo Galera (Malfa – Isola di Salina) prevede il completamento della diga foranea di sopraflutto tramite la realizzazione di una struttura foranea con sezione di tipo misto, caratterizzata da dei cassoni verticali protetti lato mare da un'opera a gettata con mantellata in massi artificiali ad alto interlocking tipo accropodi (da 16 m³). La testata dell'opera foranea prevista in progetto era costituita da un'opera foranea (riccio) con collocazione di massi artificiali tipo accropodi (da 20 m³).

L'opera prevista dal progetto esecutivo permette di mettere in sicurezza il porto di Scalo Galera dalle mareggiate più significative provenienti dal paraggio compreso da Ovest-NordOvest a Nord. Tuttavia, lo specchio acqueo interno risulta, durante la stagione invernale, parzialmente esposto a mareggiate provenienti dalle direzioni comprese tra Nord e Nord-Est. Tale configurazione risulta adeguata all'utilizzo del porto nella stagione estiva di massima affluenza turistica, mentre non garantisce il pieno utilizzo durante la stagione invernale. Inoltre, nella configurazione del progetto esecutivo del 2019 non è previsto un approdo per le navi cisterna che riforniscono di acqua potabile il comune di Malfa, per cui la modalità di ormeggio rimarrebbe la stessa dello stato attuale all'imboccatura del porto (Figura 4).

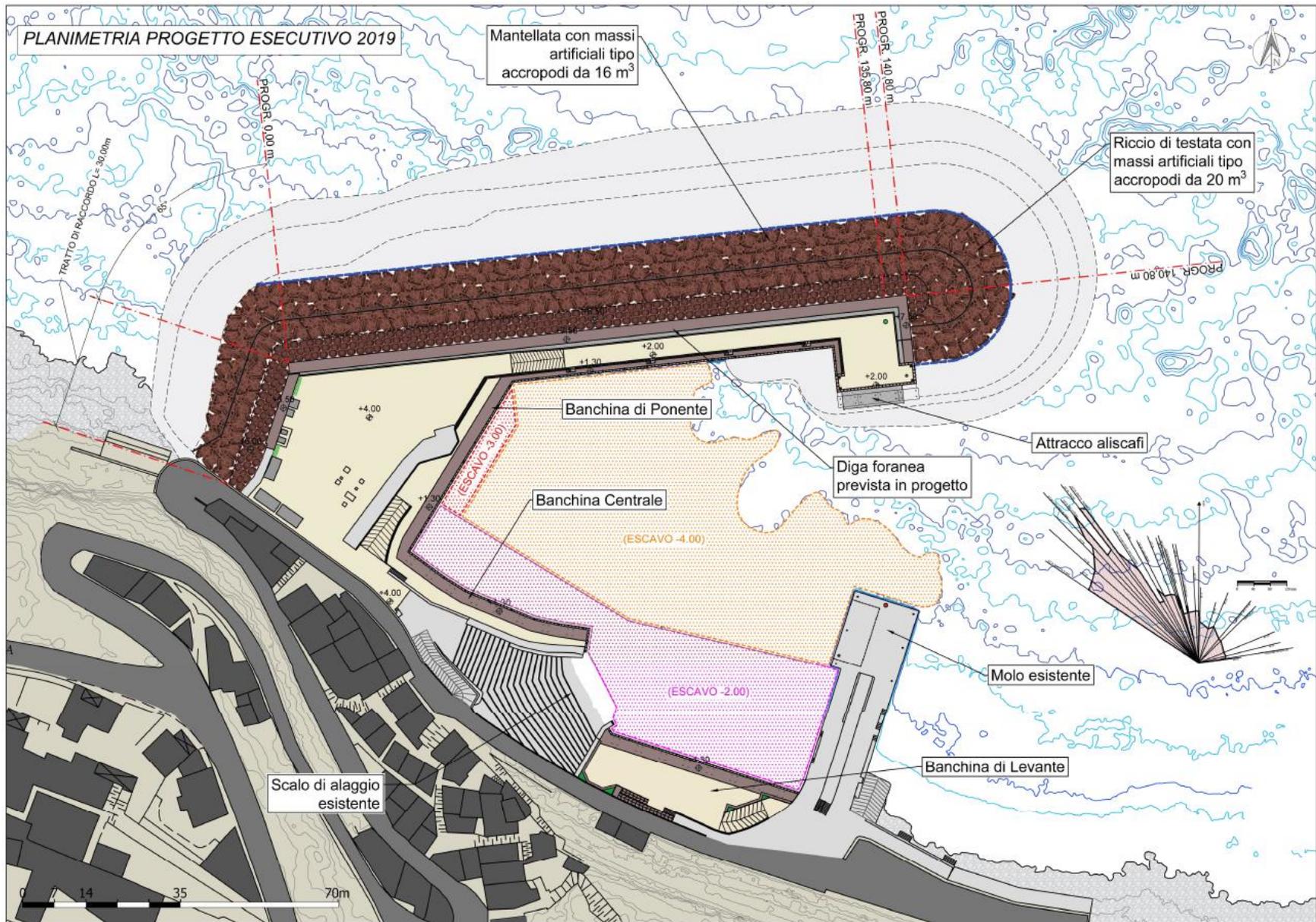


Figura 3 - Planimetria progetto esecutivo in corso di realizzazione

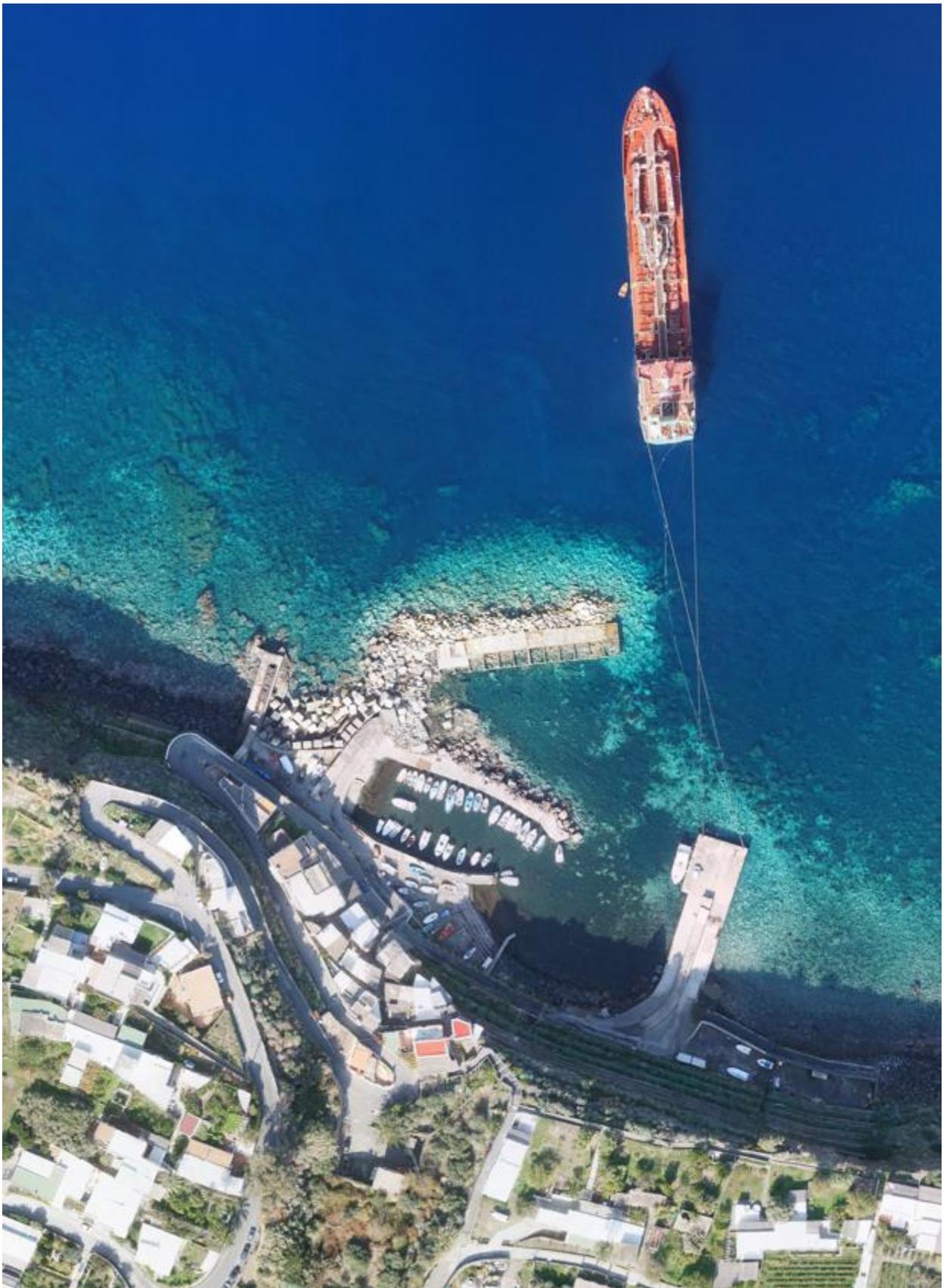


Figura 4 - Ortofoto dello stato del porto di Scalo Galera prima dell'inizio dei lavori con la nave cisterna ormeggiata in andana

Difatti, allo stato attuale le navi cisterna sono costrette ad ormeggiare all'andana, cioè gettando le ancore di prua al largo e cazzando due cime di poppa sul moletto di levante già presente a Scalo Galera. Tale operazione, oltre a costituire un aggravio delle operazioni necessarie per rifornire di acqua il Comune di Malfa, costituisce un significativo impatto ambientale in quanto con cadenza quasi giornaliera una nave cisterna di grosse dimensioni (lunghezza di ca. 80 m) è costretta a gettare l'ancora sopra o nei fondali prossimi ad una prateria di Posidonia Oceanica danneggiandola volta per volta.

Infine, in caso di presenza della nave con ormeggio in andana si andrebbero inevitabilmente a creare delle possibili interferenze con gli utilizzatori del porto in quanto la nave ormeggiata all'imboccatura ostacola gli accessi e le uscite dei natanti.

Per tale ragione, il R.U.P. ha richiesto al Direttore dei Lavori di predisporre una variante sulla testata dell'opera foranea tale da risolvere le seguenti problematiche:

► **Migliorare le condizioni di ormeggio delle navi cisterna mitigando le attuali interferenze con l'ecosistema marino causate dalla necessità di calare l'ancora su o nelle vicinanze di una prateria di posidonia oceanica;**

► **Migliorare l'operatività del nuovo bacino portuale anche in relazione allo stato di ridosso dello specchio acqueo in presenza di mareggiate, consentendo una operatività del bacino portuale continuativa, anche nel periodo invernale soprattutto nell'ottica di massimizzare la possibilità di utilizzo da parte dei locali**

In particolare, la posta di variante sviluppata (Figura 5) prevede una modifica localizzata della tipologia di testata dell'opera foranea, difatti a sostituzione del riccio di testata realizzato con massi artificiali tipo accropodi previsto nel Progetto Esecutivo, la proposta di variante prevede la realizzazione di una testata con cassoni a parete verticale, posizionati in modo tale sia di costituire un ormeggio per le navi cisterna che riforniscono di acqua il Comune di Malfa e l'Isola di Salina sia di limitare considerevolmente la penetrazione del moto ondoso all'interno dello

specchio acqueo portuale in presenza di mareggiate provenienti dal I quadrante, come sarà meglio evidenziato nel successivo capitolo riguardante le simulazioni numeriche eseguite. Non sono previste ulteriori variazioni al progetto esecutivo ulteriormente a quella localizzata in testata sopra descritta.

Tale soluzione è stata condivisa dal R.U.P. con la Marnavi s.p.a., società concessionaria del servizio di rifornimento idrico alle Isole Eolie, la quale con nota prot. n.27/2021 del 13/09/2021 ha dichiarato, dopo valutazione anche con il supporto dei propri comandanti, di ritenerla valida per risolvere la necessità di ormeggi in andana con cadenza quasi giornaliera.

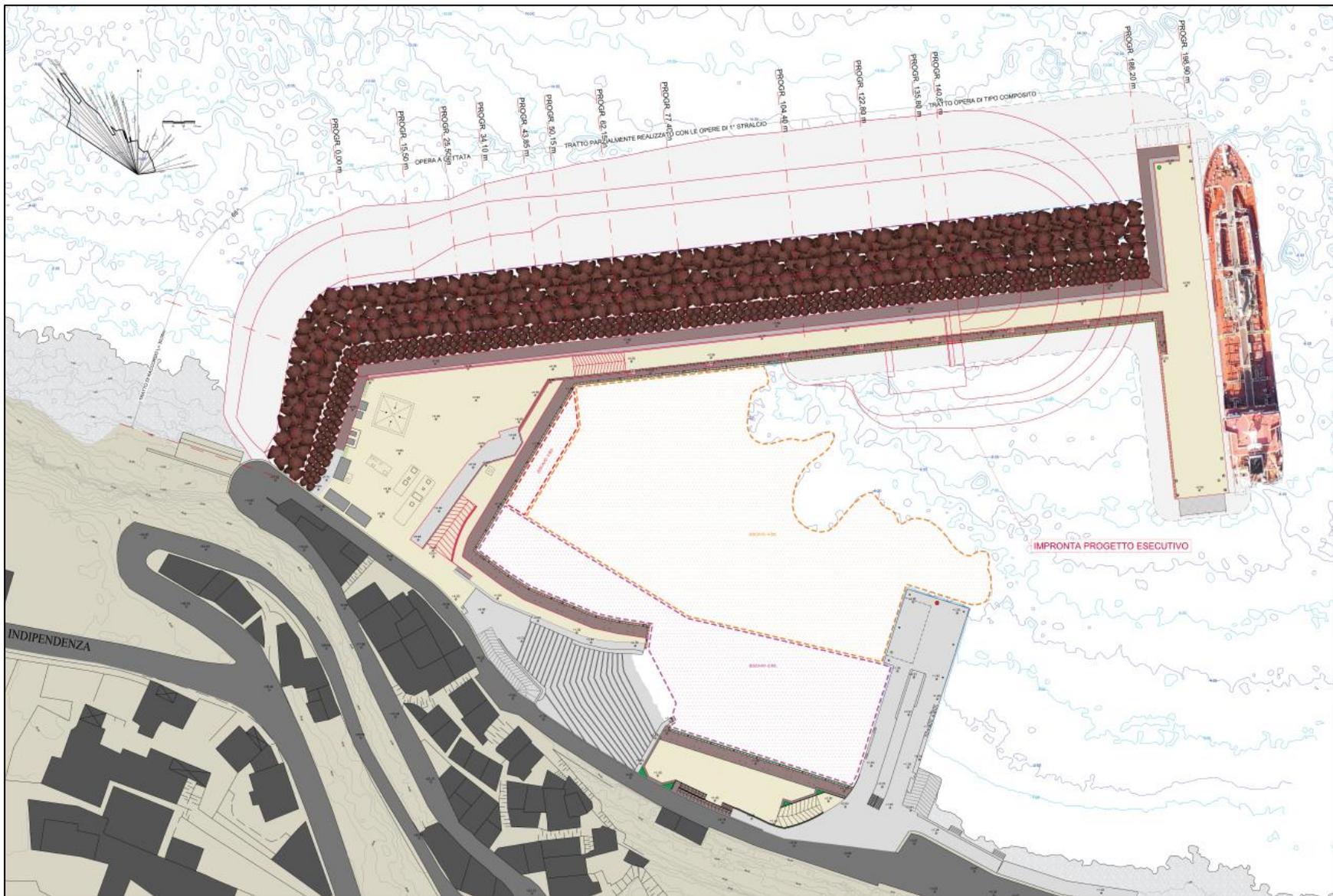


Figura 6 - raffronto opera proposta in variante con impronta opera prevista nel progetto esecutivo 2019

In Figura 6 è riportato il raffronto tra la soluzione prevista nel progetto esecutivo e quella proposta in variante. In particolare, per quanto riguarda l'area di impronta sui fondali, la proposta di variante ha complessivamente un ingombro di 1500 m² in più sull'impronta della diga di sopraflutto prevista dal progetto esecutivo (aumento dell'11% ca.) **in aree in cui non sono presenti posidonieti o altre biocenosi di rilievo.**

2 STUDIO DI AGITAZIONE INTERNA

Il presente aggiornamento dello studio idraulico marittimo - agitazione interna del Porto di Scalo Galera a Malfa è stato realizzato per il progetto di messa in sicurezza del Porto di Malfa – Isola di Salina, ai sensi della procedura prevista dall'art. 5 della Legge Regionale 21/1998. Nello specifico, il presente studio intende analizzare integrare gli elaborati già facenti parte del progetto esecutivo approvato (All.9.1, All.9.2 e All.9.4) confrontando le condizioni di agitazione interna dello specchio acqueo portuale nella configurazione finale del porto prevista dal progetto esecutivo approvato e quella proposta nell'ambito della variante.

Nello specifico, considerando che la sicurezza delle opere portuali risulta già garantita nell'ambito dei lavori previsti dal progetto esecutivo, la presente relazione è andata principalmente a verificare la possibilità per le piccole imbarcazioni locali di utilizzare il porto in sicurezza anche durante la stagione invernale, al fine di garantire un utilizzo non più stagionale dello stesso, con ulteriori vantaggi per l'economia locale e dal punto di vista ambientale, limitando la necessità di movimentare con carrelli le decine di piccole unità locali per essere portate a rimessaggio.

Il Porto di Scalo Galera è presente sulla parte settentrionale dell'Isola di Salina, facente parte del Comune di Malfa (ME) (Figura 7 e Figura 8).

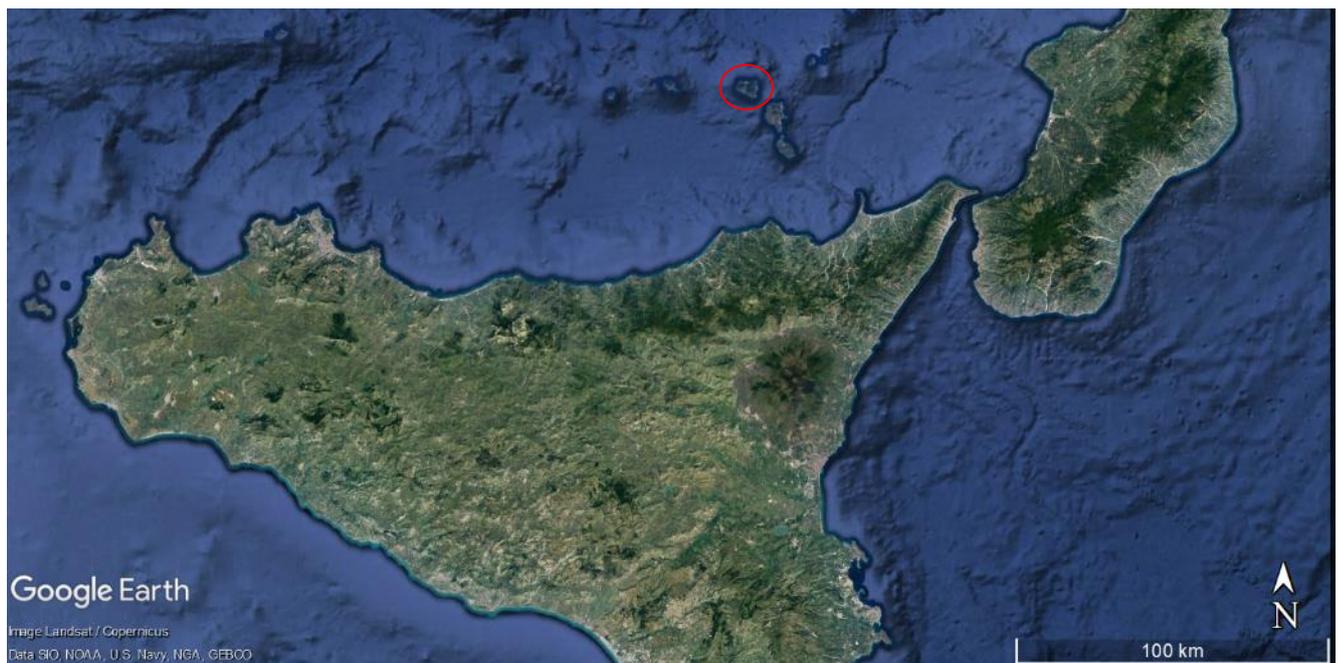


Figura 7 - Posizione di Salina nel Mar Tirreno Meridionale

In particolare, il presente studio ha avuto il focus principale di dimostrare, a partire dalle medesime condizioni a contorno di eventi estremi a largo del porto di Scalo Galera (dunque basandosi sui medesimi dati di partenza delle simulazioni presenti nel Progetto Esecutivo).



Figura 8 - Posizione del Porto di Scalo Galera nell'Isola di Salina



Figura 9 - Particolare porto di Scalo Galera pre-interventi

SIMULAZIONI NUMERICHE

Al fine di dimostrare i vantaggi ottenibili con la nuova configurazione portuale proposta, si è andati a simulare l'agitazione all'interno del bacino portuale sia nel layout di progetto esecutivo che in quella della proposta di variante. Per eseguire queste simulazioni si è utilizzato il modello CGWAVE, facente parte del pacchetto Software SMS, sviluppato dall' U.S. Army Corp of Engineers (USACE). Nel modello si è andati ad inserire come condizione a contorno "open sea", per le diverse direzioni analizzate per il tempo di ritorno $T_r = 3$ anni (tipico per le analisi di fruibilità del porto), un valore caratteristico dell'altezza d'onda e della direzione all'imboccatura portuale.

Sono stati considerati n.5 punti di controllo, coerentemente con quanto fatto nel progetto esecutivo. Come evidenziato dai risultati ottenuti la penetrazione del moto ondoso nella configurazione "Variante" è significativamente ridotta rispetto alla configurazione "P.E.", soprattutto per i marosi provenienti dal I quadrante.

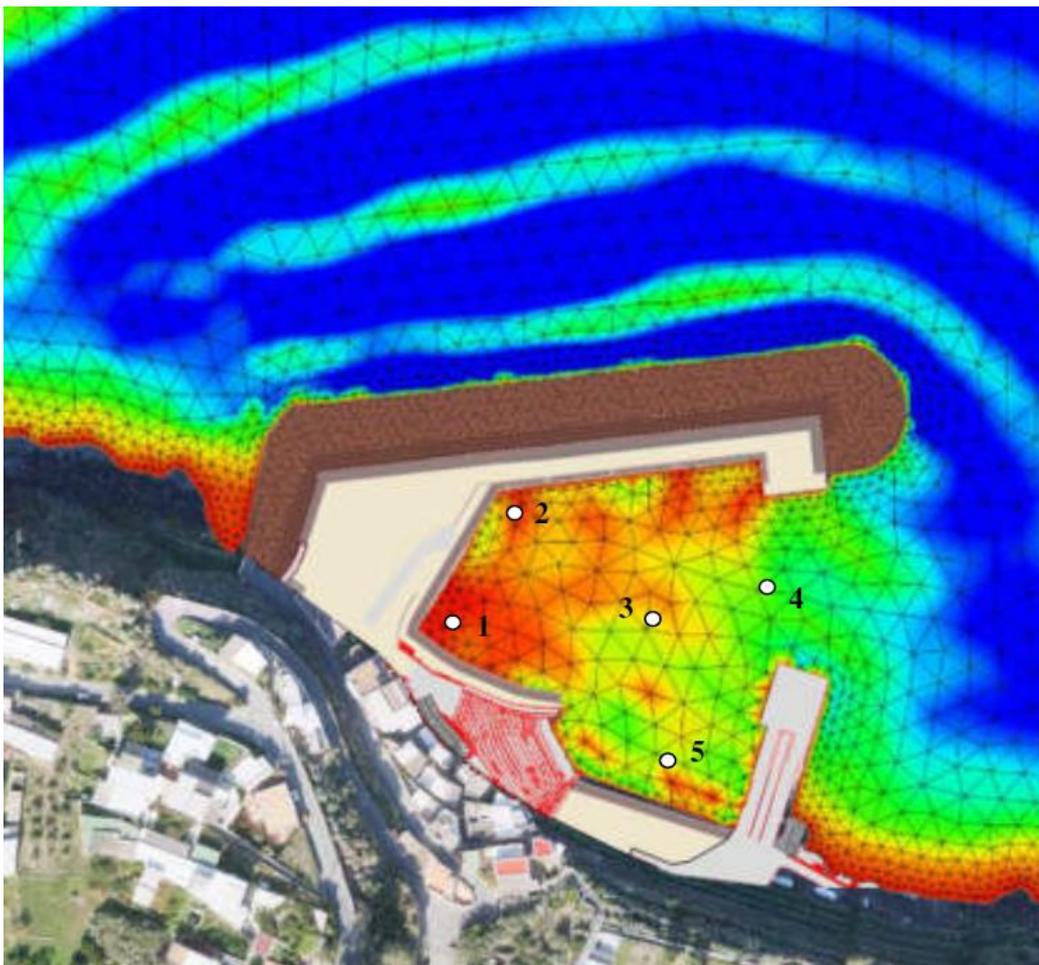


Figura 10 – simulazione di penetrazione del moto ondoso con indicazione dei punti di controllo selezionati

Lo studio della diffrazione consiste in quell'insieme fenomenologico conseguente alla propagazione delle onde in base a leggi che non seguono quelle della propagazione rettilinea nei mezzi omogenei, secondo i dettami dell'ottica geometrica.

Occorre precisare che il fenomeno della diffrazione si manifesta in modo sensibilmente apprezzabile solo se le onde incontrano un ostacolo capace di limitare l'estensione utile dei fronti a dimensioni dell'ordine della lunghezza d'onda.

L'esame teorico della diffrazione del moto ondoso viene, com'è noto, condotto con gli stessi metodi elaborati per lo studio degli analoghi fenomeni nell'ottica e nell'acustica.

Il fenomeno della diffrazione può essere, infatti, spiegato con il seguente principio di Huygens-Fresnel.

"Sia S una sorgente puntiforme ed s una superficie chiusa che la contiene in cui ogni elemento dA diviene a sua volta sorgente di onde elementari che, con opportune intensità e fase, si propagano in tutte le direzioni".

Ciò, ovviamente, comporta che in un punto posto al di fuori della superficie s , l'intensità della perturbazione che vi giunge è la risultante dell'interferenza di tutte le onde elementari emesse da ciascun elemento di s ; allorquando, in particolare, la superficie sia una superficie d'onda, le diverse onde elementari risultano in fase.

Ove, per ricondurre subito il discorso al problema della diffrazione, vi sia un ostacolo che taglia la superficie s , in un punto al di fuori di essa perverranno solo le onde elementari emesse dalla porzione di s non intercettata dall'ostacolo.

Ogni punto del fronte che avanza deve, pertanto, essere considerato come il centro di una perturbazione secondaria che si dirama in tutte le direzioni.

La successiva configurazione assunta dai fronti d'onda, dopo un intervallo finito di tempo, nasce dall'involuppo delle suddette perturbazioni secondarie.

Allorquando un treno d'onde supera un'opera foranea, accade che un'aliquota di energia posseduta dal treno d'onde incidente si propaga a tergo dell'ostacolo. Ove ciò non fosse, infatti, nella zona di ombra si avrebbe la calma assoluta.

L'aliquota dell'energia riflessa dall'opera dipende, invece, dalla geometria della stessa e, mentre per opere con parete verticale può assumersi un coefficiente di riflessione compreso tra 0,90 e 1, per strutture del tipo a gettata è sufficientemente realistico assumere per il coefficiente di riflessione il valore di $0,30 \div 0,50$.

Lo studio della diffrazione, nel senso più generale del termine, affronta la valutazione delle caratteristiche del moto ondoso sia nella zona di riflessione dello stesso, sia nella zona protetta a tergo dell'ostacolo.

La conoscenza dell'agibilità e dell'affidabilità del dispositivo portuale implica quindi un approfondimento dello studio del fenomeno di che trattasi, la cui soluzione è stata posta sotto forma di grafici e tabelle dal Wiegel nel caso di ostacolo rettilineo semidefinito e perfettamente riflettente che si erge su profondità costante.

Il modello numerico utilizzato nel nostro caso è un modello agli elementi finiti all'avanguardia per calcolare le altezze d'onda all'interno dell'area in esame per tutte le condizioni di moto ondoso incidente.

Note le altezze d'onda, è possibile stimare, con un'unica simulazione, l'agitazione ondosa in diversi punti, per particolari condizioni di moto ondoso incidente. Il modello numerico utilizzato è CGWAVE (Coastal and Hydraulics Laboratory -United States Army Corps of Engineering) che utilizza come interfaccia grafica il modello SMS (Surface modeling system).

CGWAVE include: la diffrazione delle onde provocata dalle strutture emergenti e quella dovuta alle caratteristiche del fondale marino; la rifrazione e gli effetti di shoaling derivati dalle variazioni di profondità; la riflessione parziale o totale causata dalle strutture costiere e portuali; gli effetti d'attrito di fondo e frangimento delle onde.

Il problema è risolto sulla base dell'equazione per i fondali a debole pendenza (Mild Slope Equation) o di quella di Berkhoff, cioè:

$$\nabla[\mathbb{C}C_g \cdot \nabla\phi] + \omega^2 \frac{C_g}{C} \phi = 0$$

Dove C e C_g sono, rispettivamente, le velocità di fase e di gruppo, definiti da:

$$C = \frac{\omega}{k} \quad e \quad C_g = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{2kh}{\sinh(2kh)} \right] \cdot C$$

dove ω è la frequenza angolare, h è la profondità medio mare, e k è il numero d'onda definito da $2\pi/L$, con L (=CT) lunghezza d'onda.

La discretizzazione agli elementi finiti dell'equazione per fondali a debole pendenza comporta il problema di specificare le condizioni al contorno lungo tutto il confine del dominio di calcolo come illustrato nella figura sottostante.

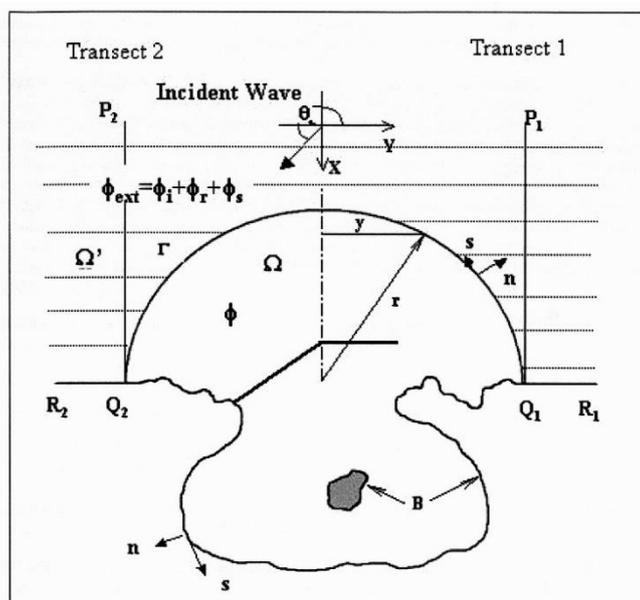


Figura 11 - Schema dominio CGWAVE

In CGWAVE vi sono molte condizioni al contorno che possono essere selezionate. Per esempio, condizioni al contorno relative alle onde incidenti (anche quelle riflesse), definite dall'altezza d'onda, il periodo e la direzione; condizioni sui contorni assorbenti, specificate in termini di una direzione d'onda; condizioni ai contorni parzialmente o completamente riflettenti, definite da un coefficiente di riflessione, il cambio di fase e la direzione d'onda. La definizione dei coefficienti di riflessione lungo i contorni parzialmente riflettenti permette di esaminare diversi tipi di strutture, per esempio frangiflutti a parametro verticale o inclinato.

I calcoli sono eseguiti su una maglia d'elementi finiti triangolari. Per ottenere dei risultati accurati, è importante rappresentare con una certa precisione le lunghezze d'onda alle diverse profondità.

Il vantaggio di usare una maglia d'elementi finiti triangolari è che la risoluzione di tale reticolo può essere personalizzata in base al periodo dell'onda ed alla profondità, in modo da minimizzare la quantità di calcoli necessari che, ricordiamo, dipende dal numero di nodi.

CGWAVE può essere usato in modalità mono-frequenza o random, e inoltre come modello mono-direzionale o multi-direzionale. In modalità "mono-frequenza" il modello considera una sola componente di periodo e direzione. In alcune situazioni, questo tipo d'applicazione fornisce una descrizione ragionevolmente precisa dello stato di mare. A causa dell'interferenza costruttiva e distruttiva dovuta all'interazione delle onde caratterizzate dallo stesso periodo, qualche volta, è possibile avere una descrizione più esauriente del campo di moto ondoso usando onde incidenti di tipo random. In questo caso possono essere simulate e combinate

automaticamente nel modello molte componenti di periodo e direzione, in funzione dello spettro delle onde incidenti.

Il modello CGWAVE rilascia, come risultato di una simulazione, le altezze d'onda sotto forma, normalmente, di grafici a colori ottenuti con l'applicazione del pacchetto software SMS.

SMS è un modello con capacità di pre-processing e post-processing per tutti i modelli numerici CHL (Coastal and Hydraulics Laboratory -United States Army Corps of Engineering), inclusi ADCIRC, TABS (RMA2, RMA4, SED2D), ADH, HiVEL, M2D, STWAVE, BOUSS2D e CGWAVE.

SMS è diviso in moduli: Scatter, Map and Mesh. Il modulo Scatter utilizza dati anche disomogenei, per esempio dati batimetrici, e interpola questi dati in maglie e reticoli del modello. Il Modulo Map è usato per creare e manipolare modelli concettuali. L'utente può creare e definire attributi per oggetti caratteristici, come punti, archi e poligoni, che definiscono il sistema modellato. Immagini, come raster o fotografie possono essere utilizzate in questo processo e possono anche rendere l'output più facile da interpretare. Il Modulo Mesh e altri moduli sono usati per creare e implementare modelli numerici. Questi moduli consentono:

- (a) interazione grafica con editing delle maglie e della rete, condizioni al contorno, parametri del modello e materiali,
- (b) visualizzazione della configurazione del modello numerico e dei dati di output.

Ognuno dei moduli utilizzati per creare e gestire modelli numerici, può avere differenti collegamenti alle cosiddette "coverages" (utilities). Per esempio, il Modulo Mesh ha tante coverages, una per ognuno dei modello supportati.

I risultati del modello numerico CGWAVE sono presentati di solito sotto forma di grafici contenenti le altezze d'onda in specifici punti d'analisi, interni all'area d'interesse. Il modello CGWAVE può rilasciare anche altri parametri fisici e, nel caso di simulazioni con singolo periodo e direzione, può calcolare la quota di pelo libero e la fase dell'onda, oltre a molte altre grandezze. Usando l'altezza e la fase dell'onda si può calcolare, in un secondo momento, la quota di pelo libero a step temporali in cui è stato suddiviso un singolo periodo dell'onda.

Il modello può essere usato, per esempio, per esaminare gli effetti del cambiamento di lunghezza od orientamento di un frangiflutti sulla sua azione schermante nei confronti degli ormeggi in progetto.

Grafici dell'altezza d'onda in funzione del periodo dell'onda in diversi punti interni allo specchio acqueo ridossato. Questi diagrammi possono essere usati per identificare i periodi d'onda a cui lo specchio acqueo ridossato è particolarmente

sensibile. Con il modello CGWAVE possono essere esaminate le diverse alternative planimetriche, per selezionare lo schema planimetrico ottimale per lo stato di ridosso dello specchio acqueo protetto.

Nel caso in esame la maglia ad elementi finiti è stata generata in modo che il modello CGWAVE fosse rappresentativo della batimetria e delle strutture proposte, ed inoltre simulasse in modo corretto le onde che si propagano a tergo dell'opera.

Le proprietà riflettenti al contorno delle opere foranee in progetto sono state rappresentate nel modello CGWAVE assegnando appropriati coefficienti di riflessione (k_r) per ogni tipologia di struttura.

Un coefficiente di riflessione 1.0 indica che tutta l'energia dell'onda incidente viene riflessa, mentre un valore inferiore indica che parte dell'energia sarà dissipata.

In questo studio, per ogni tipologia di struttura, si sono assegnati i seguenti coefficienti di riflessioni inseriti nel modello CGWAVE:

- Scarpate in massi artificiali e naturali 0.30 ÷ 0.40 (con cui sono anche state identificate le coste naturali di Salina);
- Banchine antiriflettenti 0.60;
- Banchine esistenti riflettenti 0.99 (onde evitare errori numerici selezionando una riflessione ideale, anche realmente non realizzabile);

Si fa osservare che l'opera è sempre stata inserita nella modellazione del fondale a livello di batimetria. Per ogni simulazione eseguita con il modello CGWAVE sono necessarie le condizioni di moto ondoso al largo. Il limite al largo del modello CGWAVE è stato ubicato in acque relativamente profonde, quindi ogni condizione d'onda incidente poteva essere assunta approssimativamente costante lungo il confine del modello. Utilizzando il modello matematico esposto, si è studiato lo stato di agitazione nello specchio liquido a tergo dell'opera, secondo le previsioni di progetto.

Di seguito si riporta uno screenshot della mesh di calcolo utilizzata per le analisi di penetrazione del moto ondoso nella configurazione "Variante", in scala di colori ad indicare i fondali presenti. Nello specifico, come riportato nella seguente Figura 12, il modello del fondale è stato considerato quello finale dei lavori, ovvero considerando i dragaggi interni al porto eseguiti come da progetto. Nella figura è anche riportata la distinzione tra banchine antiriflettenti e riflettenti, coerentemente con il progetto.

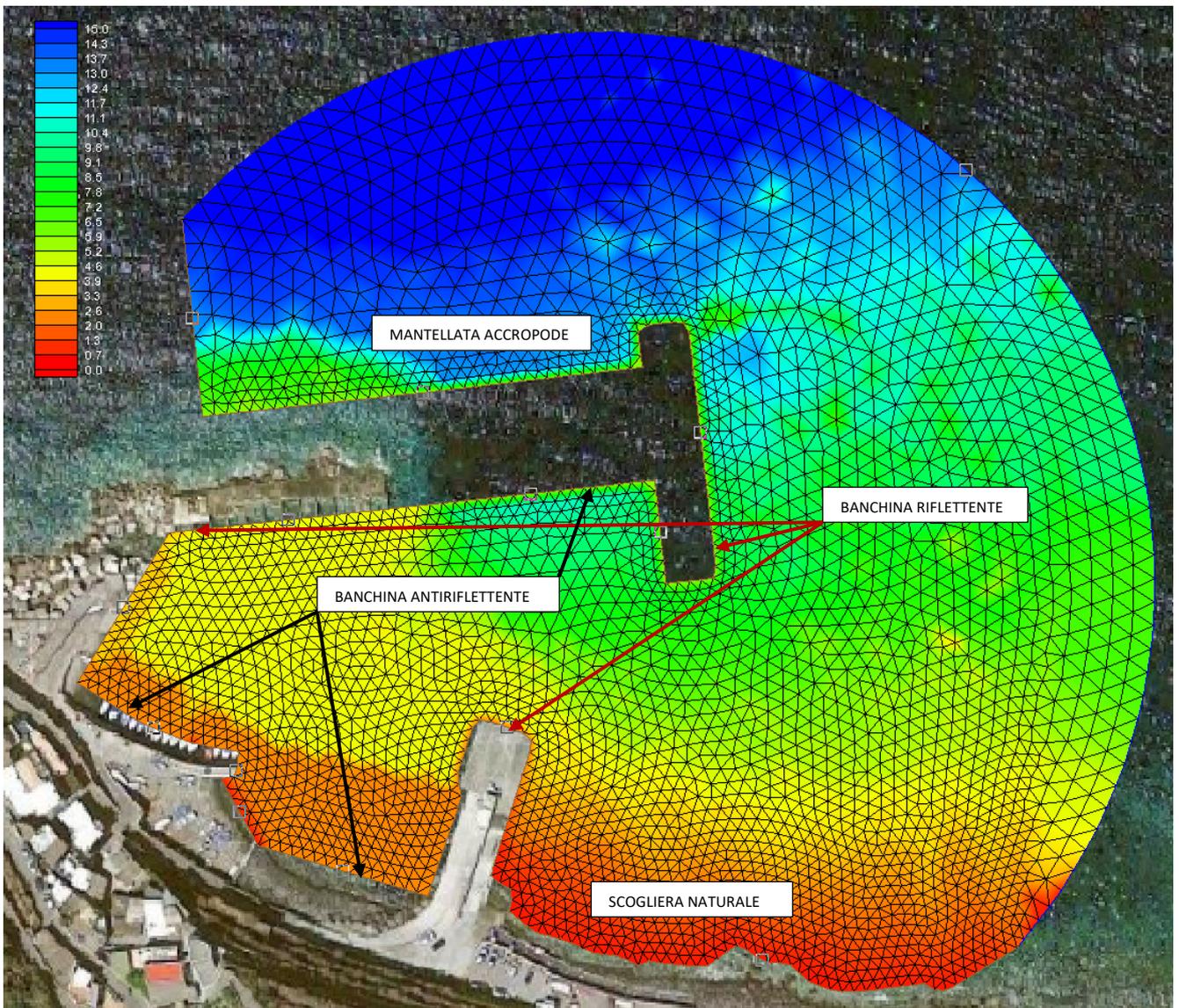


Figura 12 - Schema della Mesh di calcolo

RISULTATI MODELLO

Complessivamente sono state condotte n.6 analisi (per il tempo di ritorno pari a $T_r = 3$ anni, rappresentativo di analisi volte a dimostrare l'utilizzabilità del porto in casi di mareggiate eccezionali ma non particolarmente estreme) in particolare per le direzioni 315, 337.5, 360, 22.5, 45 e 67.5° N.

I risultati sono riportati nelle seguenti tabelle. In particolare nelle tabelle, vengono riportati: la classe di provenienza a largo dell'onda [°N]; la direzione di provenienza sottocosta risultante dalle analisi di propagazione del moto ondoso [°N]; l'altezza d'onda significativa al punto preso come condizione al contorno per [m]; il periodo di picco T_p [s]; l'altezza media d'onda significativa presente nei n.5 punti di controllo presi in considerazione nella analisi.

Tabella 1 - Risultati simulazioni – confronto tra proposta variante e progetto esecutivo

PROPOSTA VARIANTE - SCALO GALERA							
Tr 3 anni	Dir largo [°N]	315.00	337.50	360.00	22.50	45.00	67.5
	Dir sottocosta [°N]	323.00	340.00	359.00	21.00	42.00	63
	Hmo [m]	3.51	3.51	3.37	2.79	2.35	1.73
	Tp [s]	7.94	7.76	7.56	6.86	6.26	5.42
	H res [m] Punto 1	0.04	0.11	0.19	0.16	0.21	0.17
	H res [m] Punto 2	0.09	0.21	0.21	0.23	0.27	0.26
	H res [m] Punto 3	0.13	0.17	0.29	0.36	0.53	0.29
	H res [m] Punto 4	0.11	0.11	0.27	0.39	0.67	0.32
H res [m] Punto 5	0.04	0.09	0.21	0.23	0.42	0.22	
PROGETTO ESECUTIVO - SCALO GALERA							
Tr 3 anni	Dir largo [°N]	315.00	337.50	360.00	22.50	45.00	67.5
	Dir sottocosta [°N]	323.00	340.00	359.00	21.00	42.00	63
	Hmo [m]	3.51	3.51	3.37	2.79	2.35	1.73
	Tp [s]	7.94	7.76	7.56	6.86	6.26	5.42
	H res [m] Punto 1	0.47	0.42	0.44	0.13	0.26	0.19
	H res [m] Punto 2	0.83	0.84	0.33	0.18	0.26	0.27
	H res [m] Punto 3	0.20	0.61	0.16	0.51	0.51	0.57
	H res [m] Punto 4	1.09	1.35	0.65	1.41	1.56	1.07
H res [m] Punto 5	0.61	0.78	0.42	0.84	1	0.82	

Tabella 2 - Risultati simulazioni - Primo stralcio

RAFFRONTO VARIANTE - PROGETTO ESECUTIVO							
Variante vs Progetto Esecutivo	Dir largo [°N]	315.00	337.50	360.00	22.50	45.00	67.5
	H res [m] Punto 1	-91%	-74%	-57%	23%	-19%	-11%
	H res [m] Punto 2	-89%	-75%	-36%	28%	4%	-4%
	H res [m] Punto 3	-35%	-72%	81%	-29%	4%	-49%
	H res [m] Punto 4	-90%	-92%	-58%	-72%	-57%	-70%
	H res [m] Punto 5	-93%	-88%	-50%	-73%	-58%	-73%
Variante vs Progetto Esecutivo - riduzione massimi su punti	H res [m] Punto 1	-55%					
	H res [m] Punto 2	-68%					
	H res [m] Punto 3	-13%					
	H res [m] Punto 4	-57%					
	H res [m] Punto 5	-58%					

Dai dati riportati nelle tabelle si nota come la realizzazione delle opere foranee previste dalla proposta di variante permette una significativa riduzione dello stato di agitazione interna (mediamente riducendo di oltre la metà l'altezza d'onda che riesce a penetrare all'interno dello specchio acqueo portuale), rendendo compatibile un utilizzo a regime del porto anche durante la stagione invernale. Si risolvono in particolare delle problematiche significative che nella configurazione di progetto esecutivo erano presenti all'imboccatura del porto (punto 4), dove si arrivava ad una altezza d'onda significativa $H_s = 1.57$ m, mentre nella soluzione prevista in variante si arriva ad un $H_s = 0.67$ m, mentre in corrispondenza delle banchine (punti 1, 2 e 5) si hanno riduzioni medie del 60% circa, con picchi anche superiori al 90%, con un'altezza massima residua che passa da 1 m a 0,42 m (punto 5).

Di seguito si riportano i grafici risultati da tutte le simulazioni effettuate, raffiguranti tramite scala di colori l'altezza d'onda puntuale. In particolare, si sono prima riportate le nuove analisi e poi, per facilità di lettura, quelle eseguite per il progetto esecutivo, estratte dall'All.9.4. Si noti che le simulazioni del progetto esecutivo, a

differenza di quelle eseguite per la proposta di variante che sono state condotte con una scala di colori fissa sino a 5.0 m, sono eseguite con scale di colori diverse.

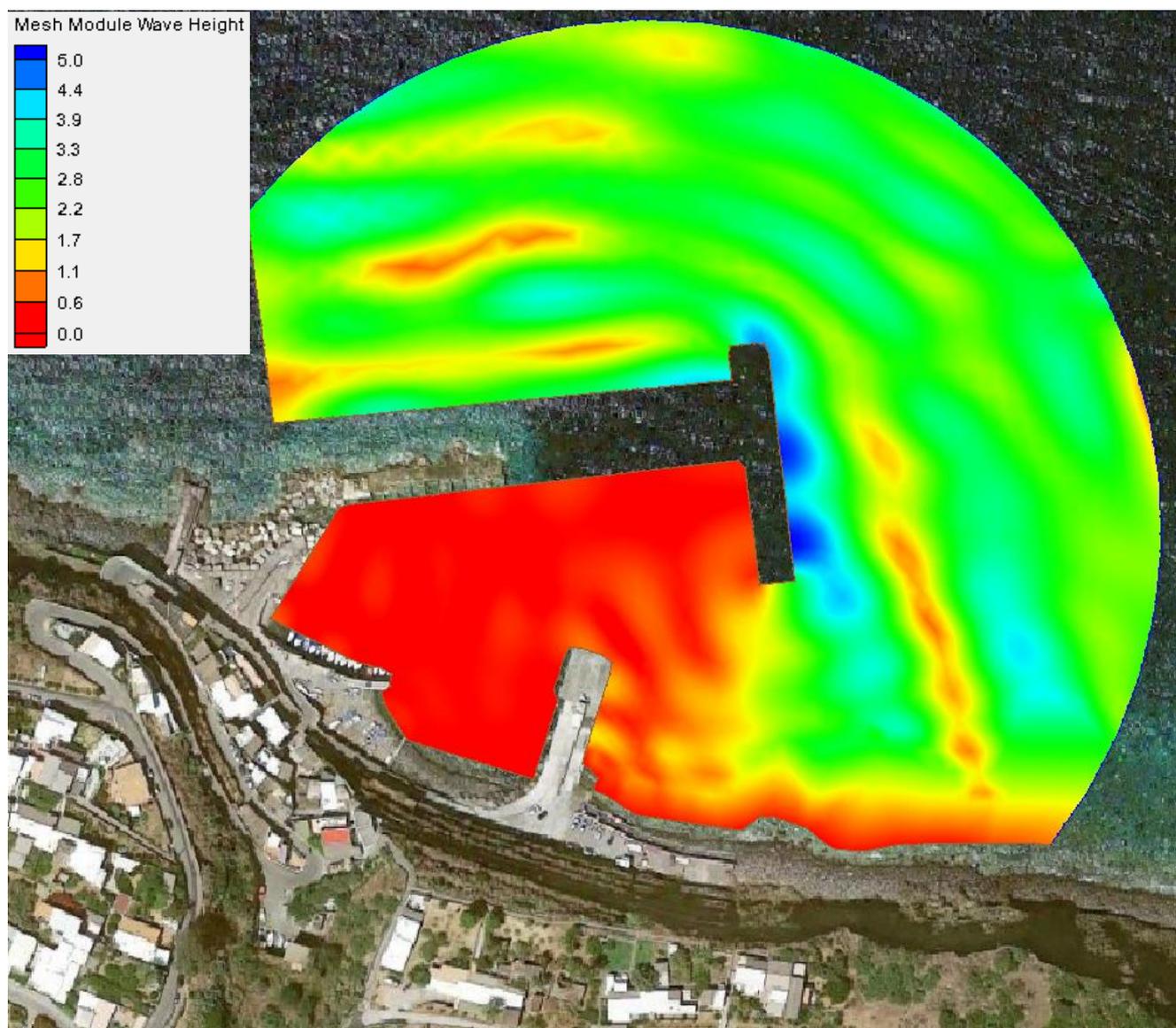


Figura 13 - Configurazione variante - $Tr = 3$ anni - dir di provenienza a largo $22.5^{\circ}N$

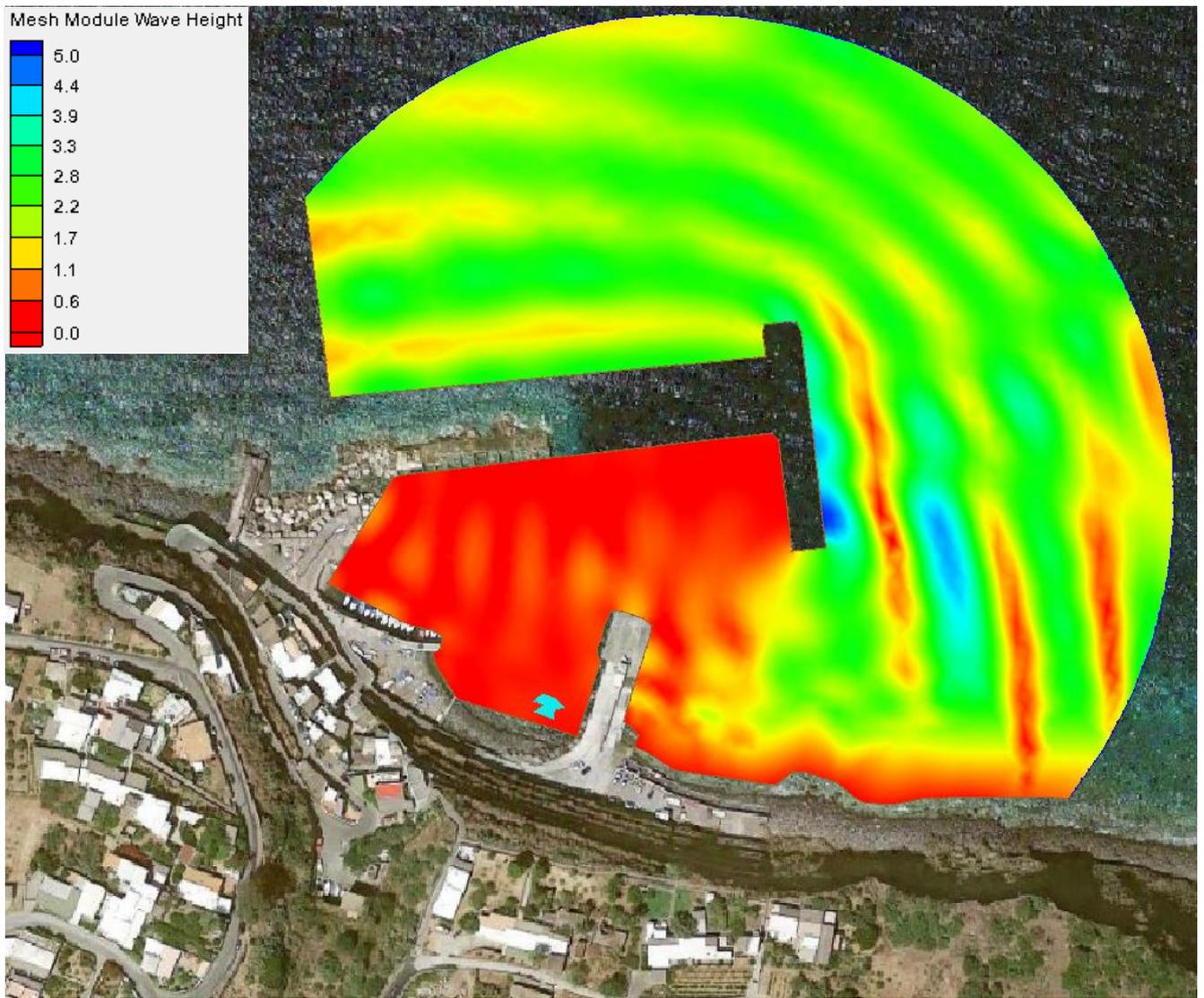


Figura 14 - Configurazione variante - $Tr = 3$ anni - dir di provenienza a largo $45^\circ N$

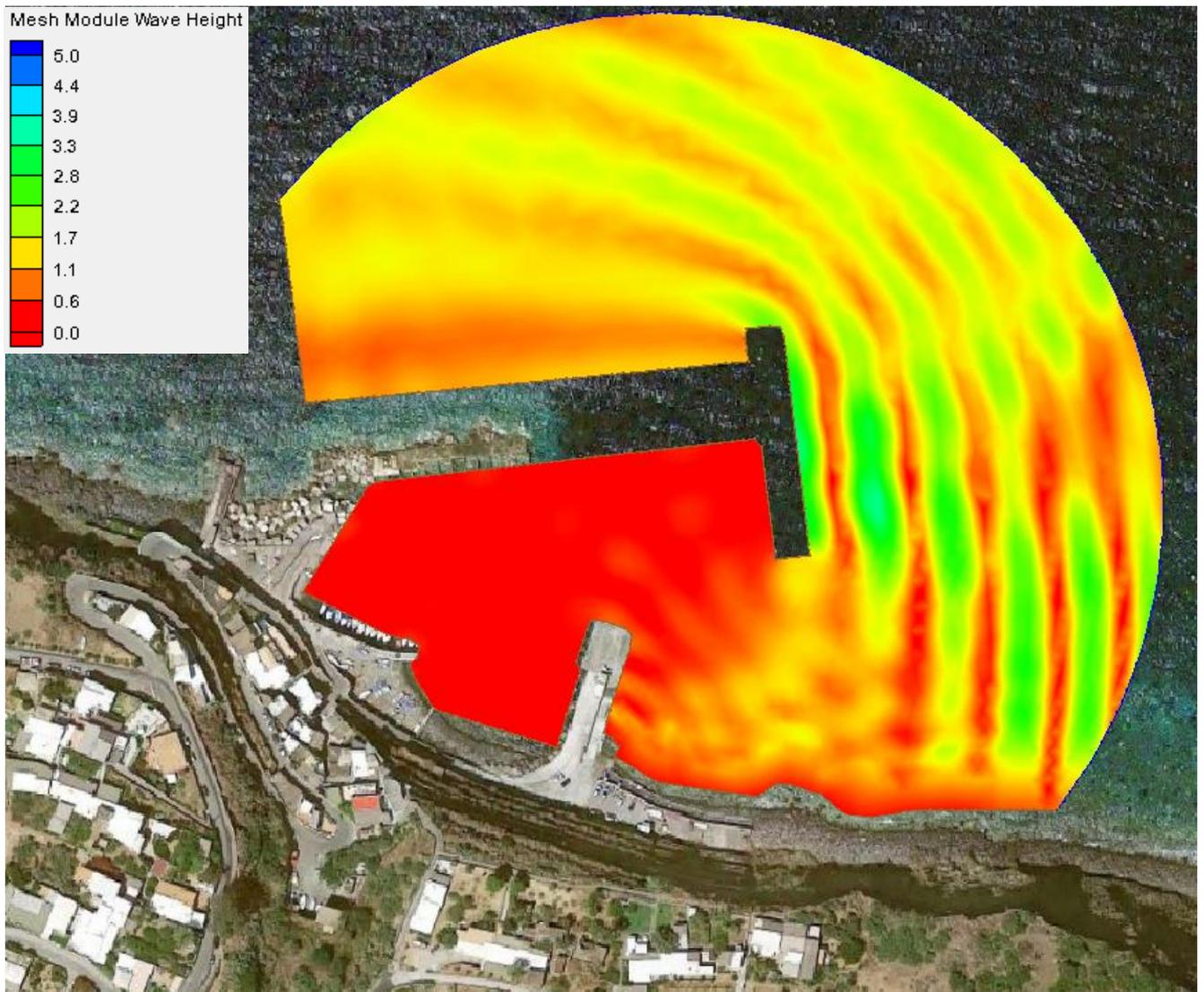


Figura 15 - Configurazione variante - $Tr = 3$ anni - dir di provenienza a largo $67.5^\circ N$

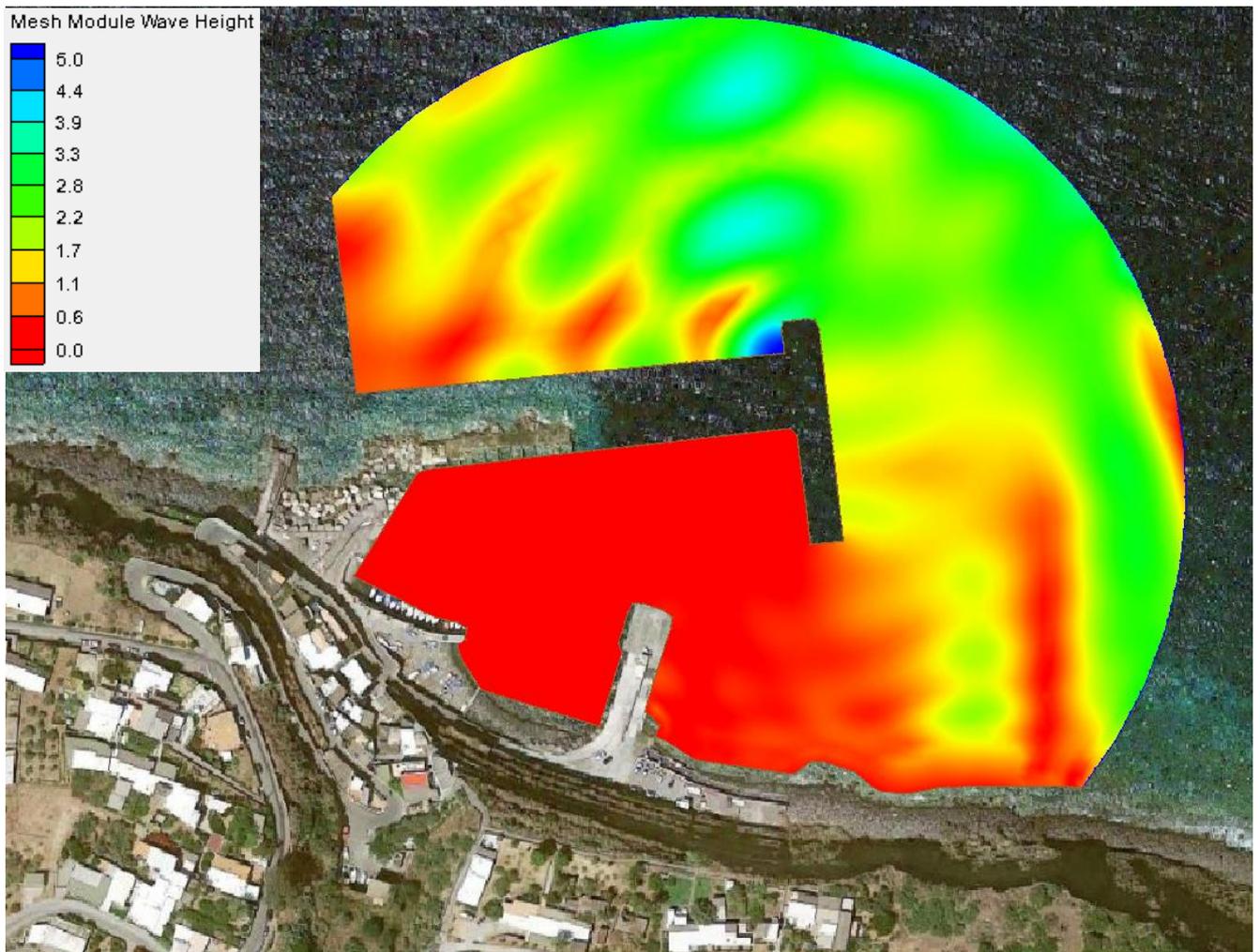


Figura 16 - Configurazione variante - $Tr = 3$ anni - dir di provenienza a largo $315^{\circ}N$

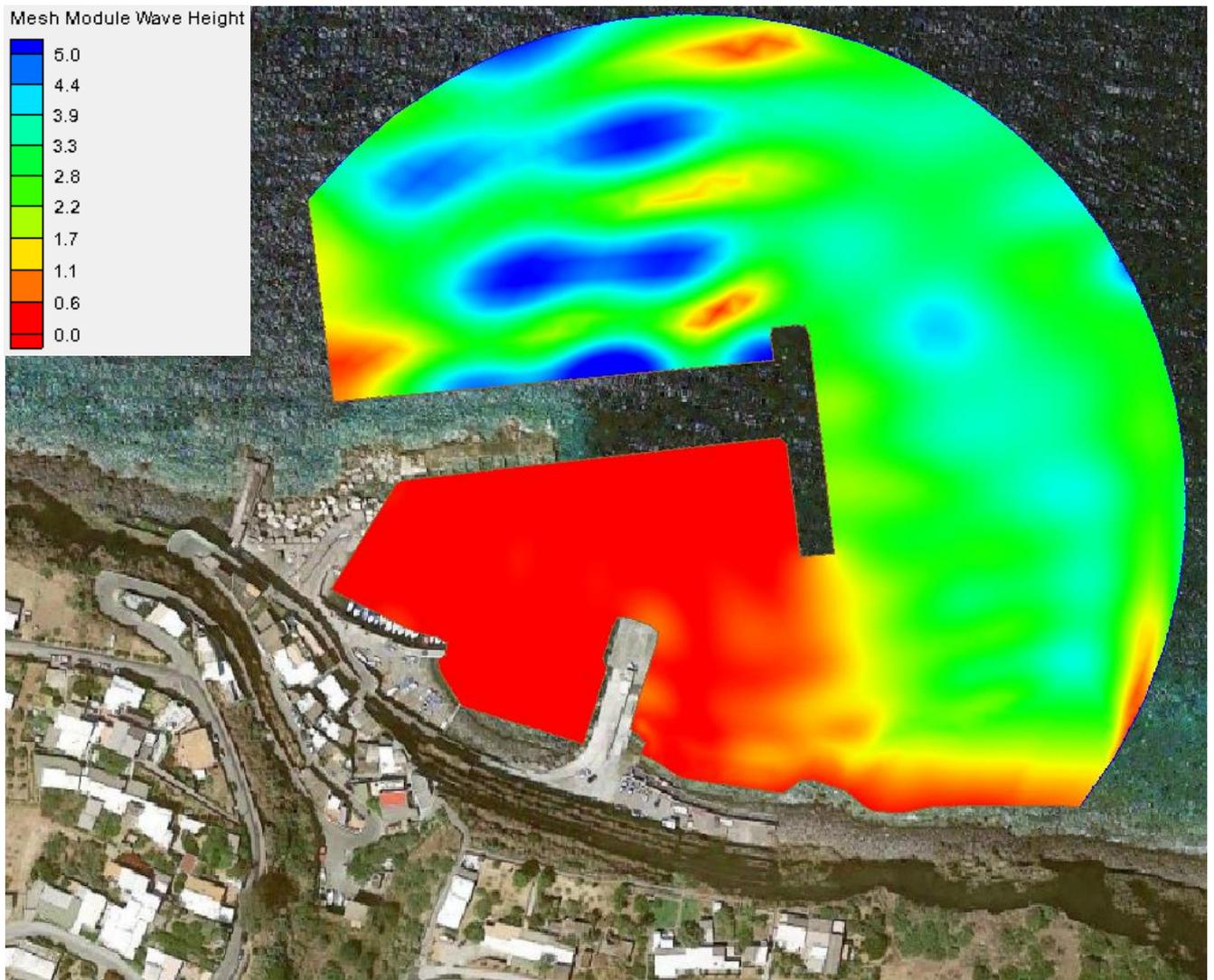


Figura 17 - Configurazione variante - $Tr = 3$ anni - dir di provenienza a largo $337.5^\circ N$

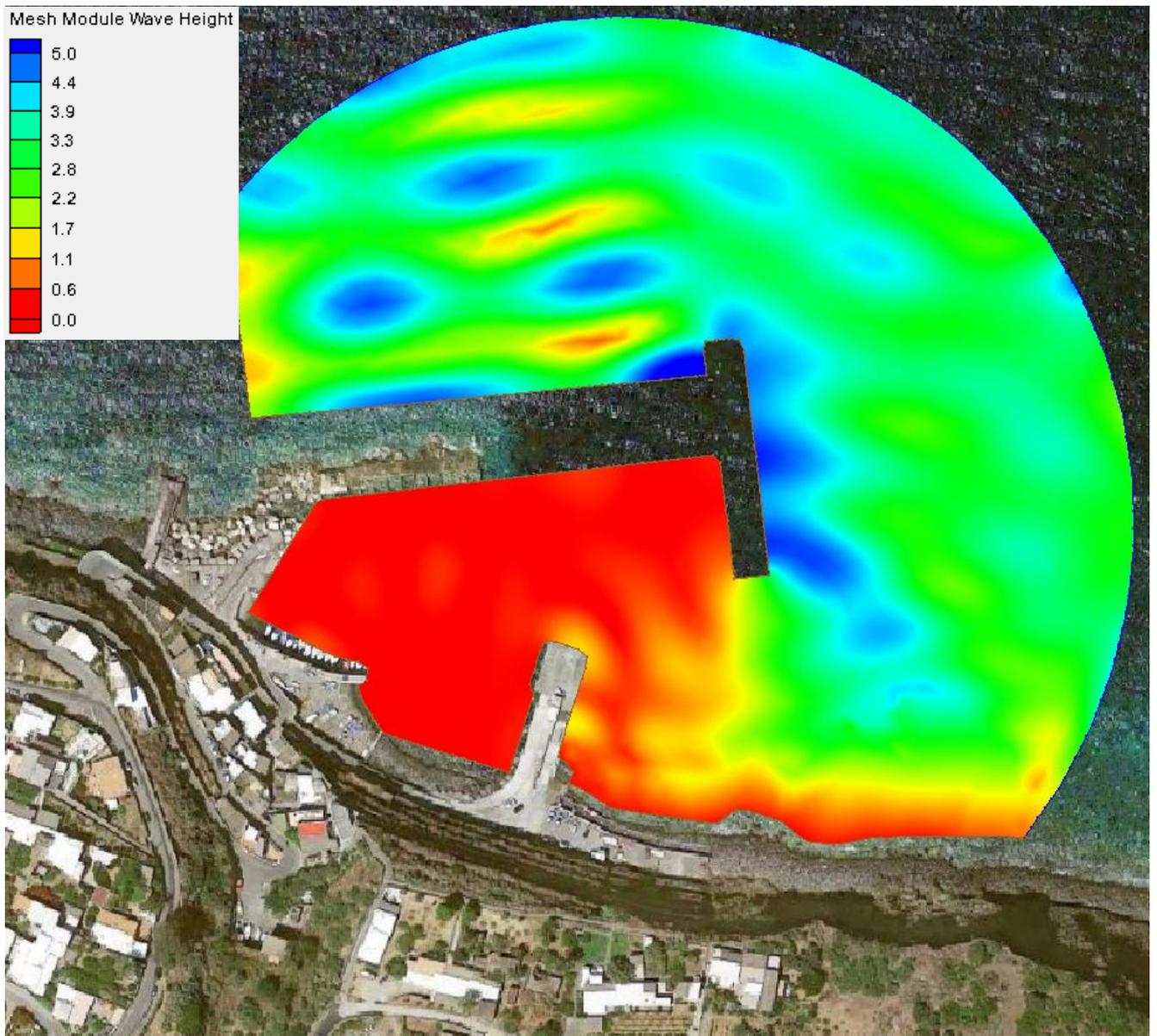


Figura 18 - Configurazione variante - $Tr = 3$ anni - dir di provenienza a largo $360^\circ N$

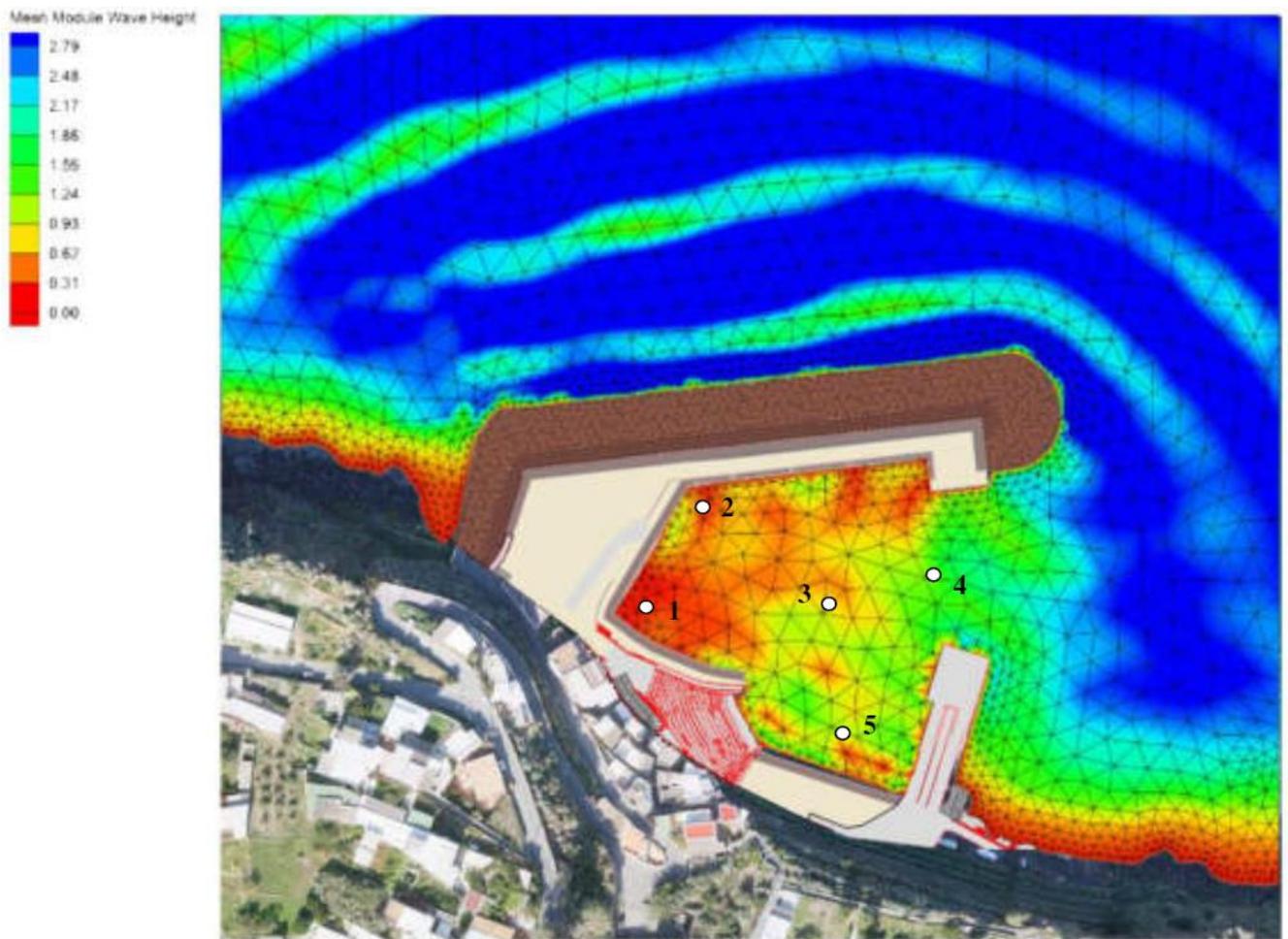


Figura 19 - Configurazione Progetto- $T_r = 3$ anni - dir di provenienza a largo $22.5^\circ N$

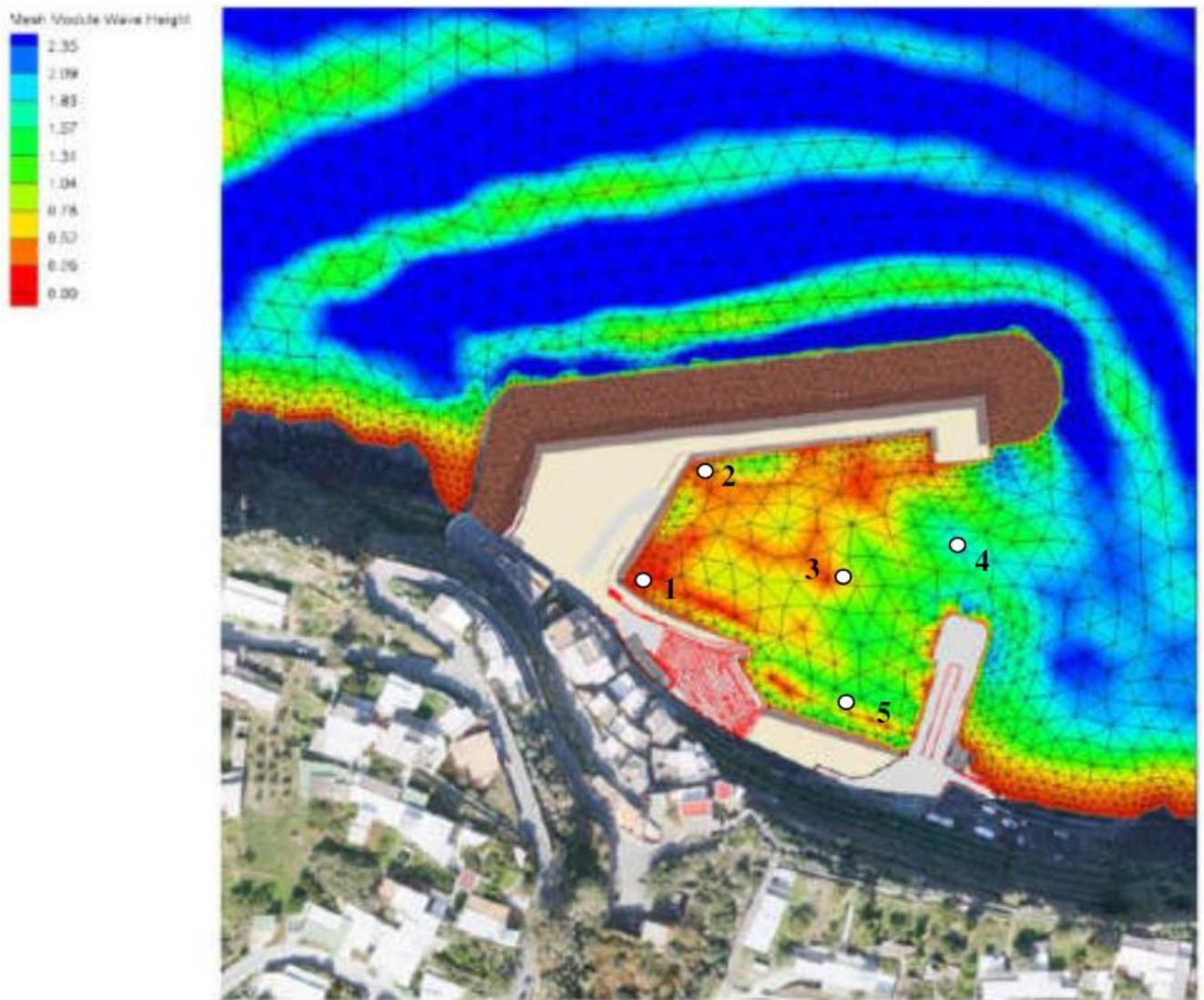


Figura 20 - Configurazione Progetto- $Tr = 3$ anni - dir di provenienza a largo $45^\circ N$

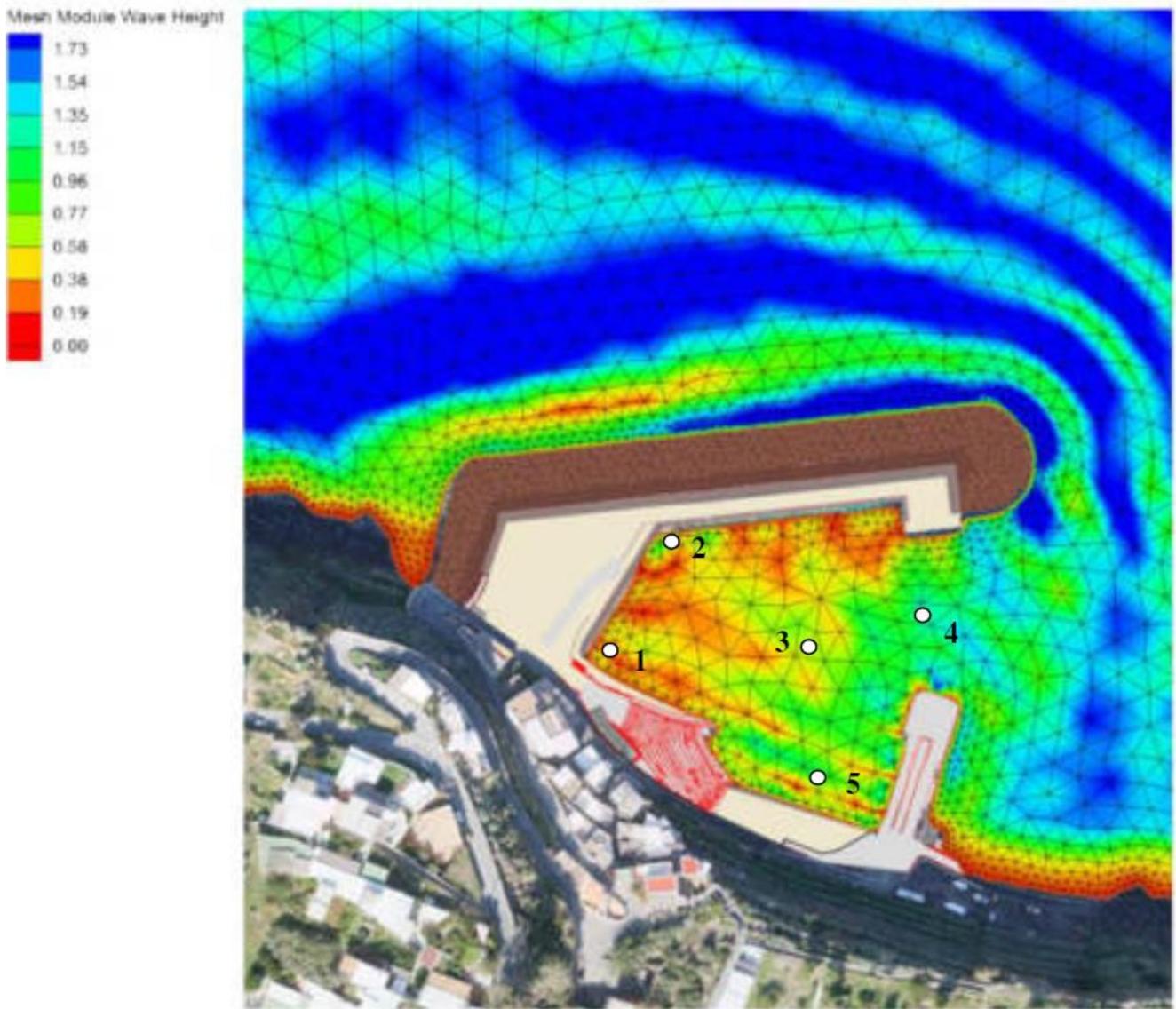


Figura 21 - Configurazione Progetto- $T_r = 3$ anni - dir di provenienza a largo $67.5^\circ N$

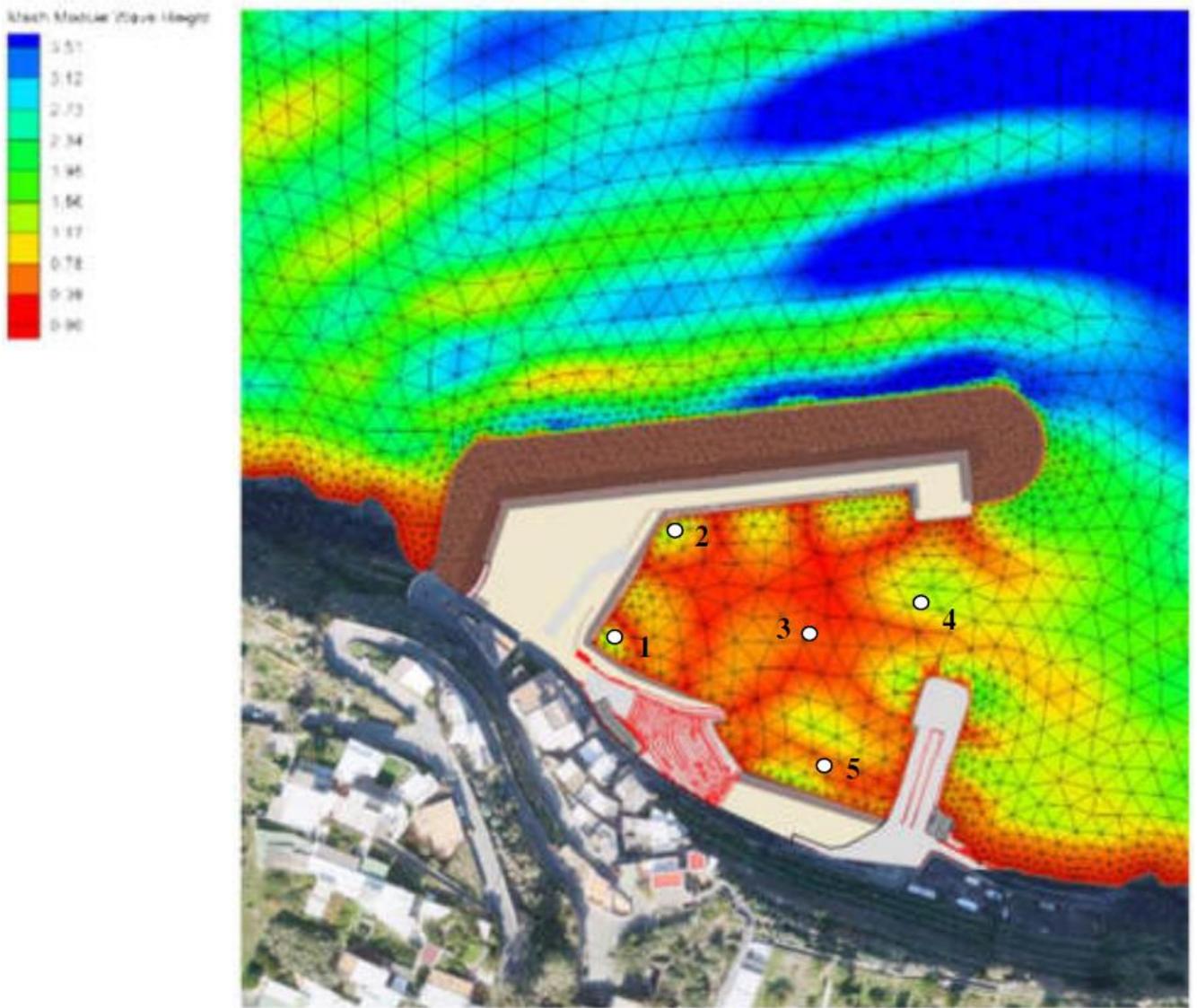


Figura 22 - Configurazione Progetto- $Tr = 3$ anni - dir di provenienza a largo $315^{\circ}N$

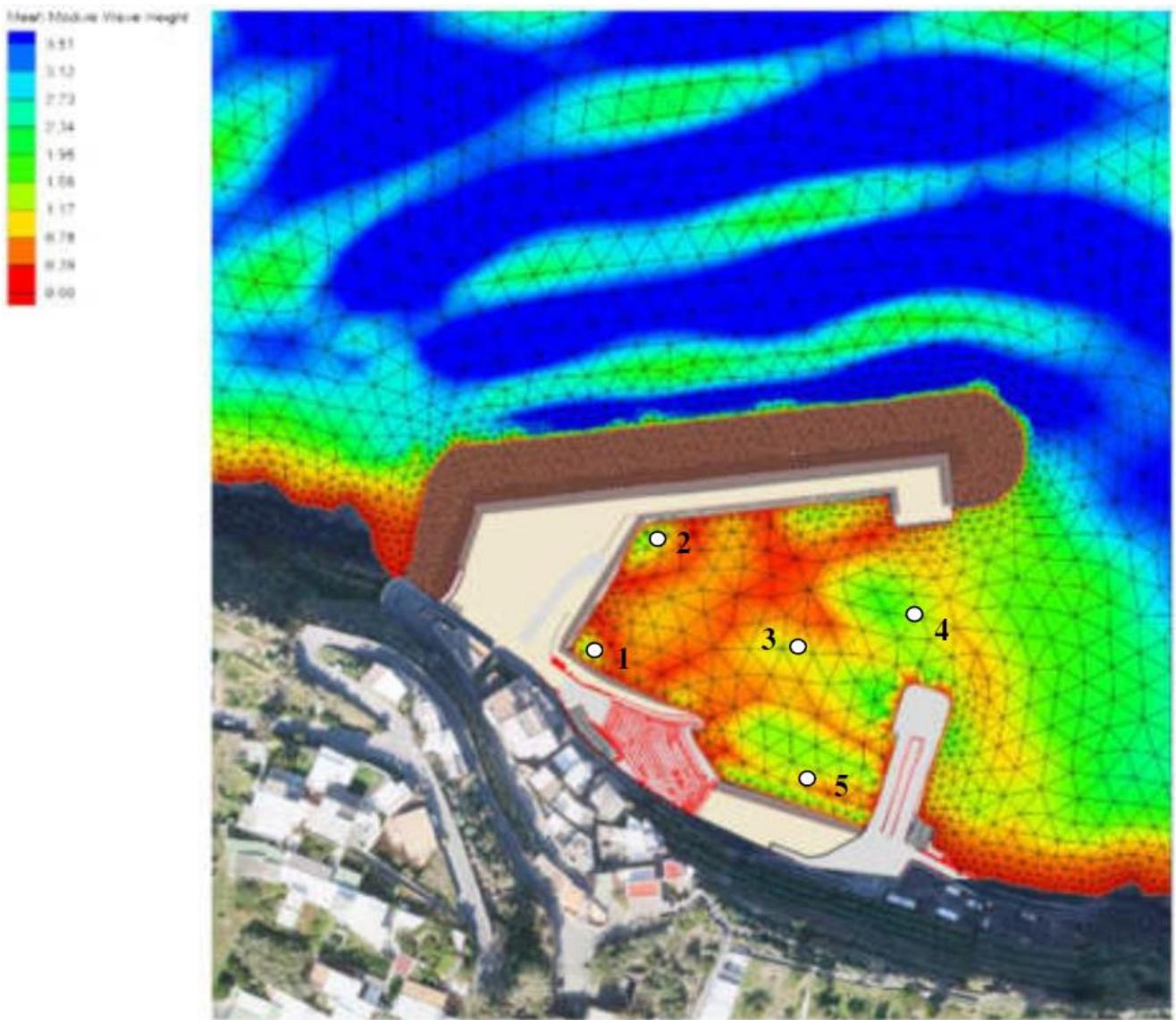


Figura 23 - Configurazione Progetto- $Tr = 3$ anni - dir di provenienza a largo $337.5^\circ N$

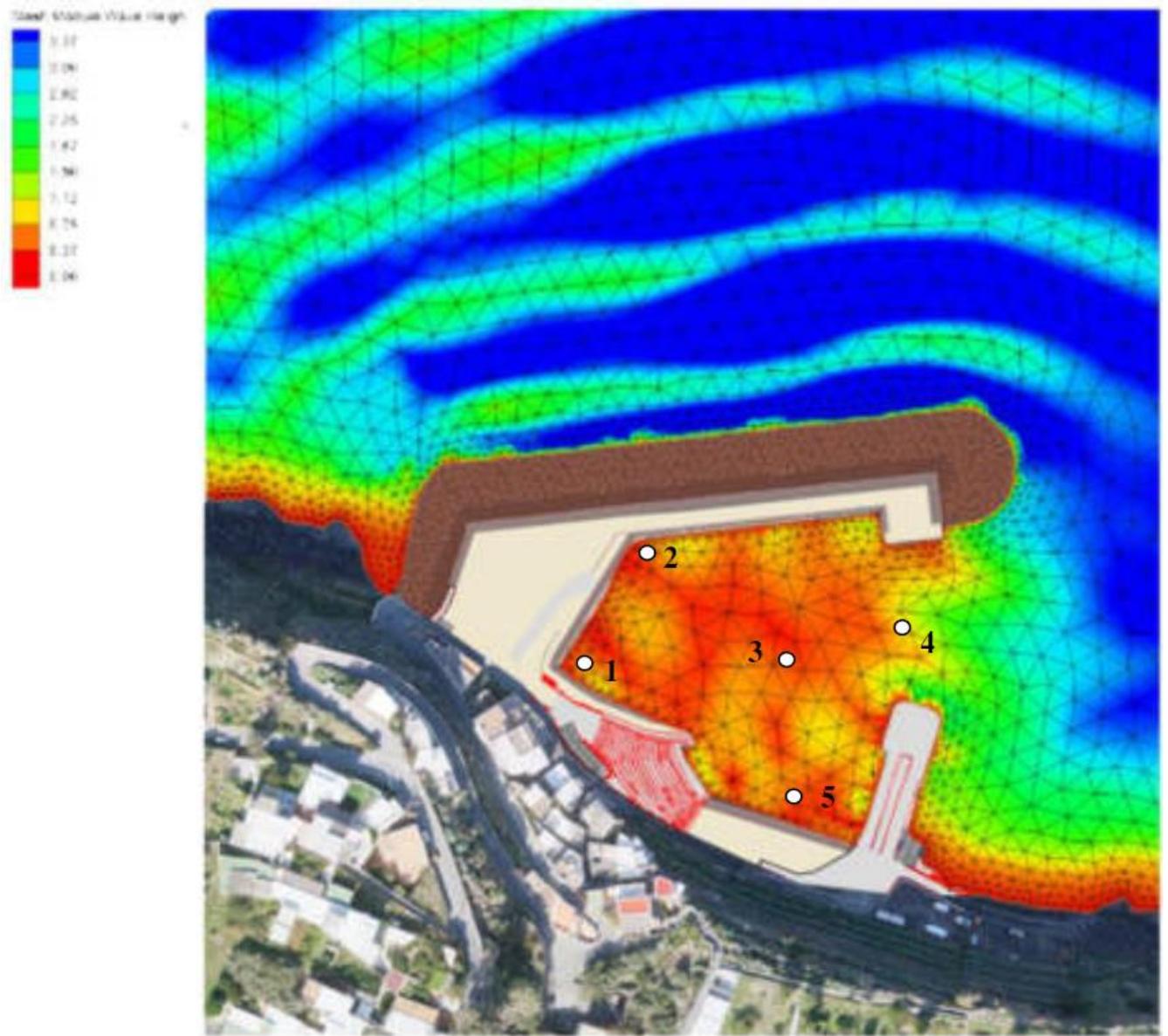


Figura 24 - Configurazione Progetto- $Tr = 3$ anni - dir di provenienza a largo $360^\circ N$