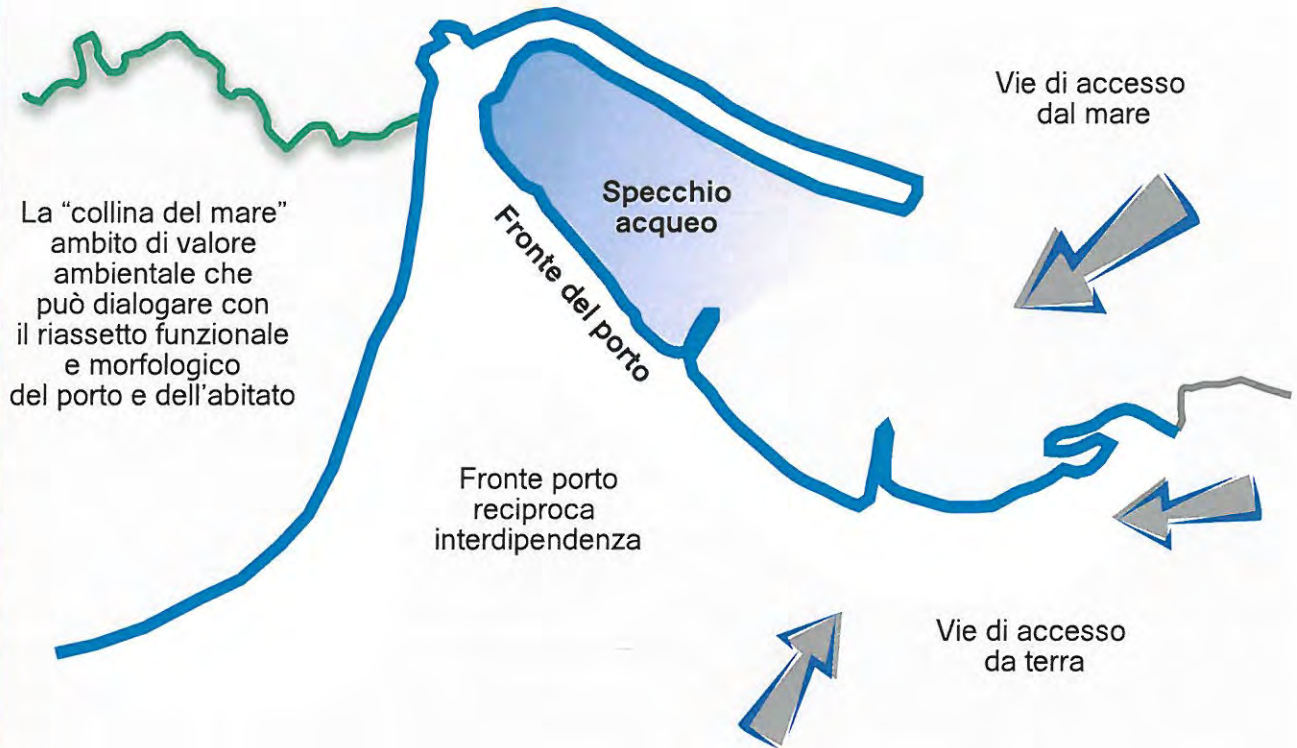




# PIANO REGOLATORE PORTUALE

L.R. 3 gennaio 2005, n.1  
Norme per il governo del territorio  
Capo III - bis, art 47-ter

**COMUNE DI MARCIANA MARINA**  
Provincia di Livorno



Sindaco	ANDREA CIUMEI
Responsabile del Procedimento	GEOM. ROSARIO NAVARRA
<b>GRUPPO DI PROGETTAZIONE</b>	
Progettista	ARCH. SILVIA VIVIANI
Collaboratori	ARCH. A. PIRRELLO, ARCH. L. NINNO, ING. A. URBANI, PIAN. TERR. L. COLTELLINI
Aspetti idraulici e diportistici	ING. DOMENICO MEI
Aspetti naturalistici	DOTT. GIUSEPPE MESSANA
Aspetti geologici	GEOL. STEFANO ROSSOMANNO
Aspetti valutativi	ARCH. ANNALISA PIRRELLO
Aspetti partecipativi	ARCH. CHIARA PIGNARIS
Studio dell'agitazione ondosa	ING. MARCO PITTORI



DATA  
luglio  
2014

AI.ST.  
01

STUDIO DELL'AGITAZIONE ONDOSA ALL'INTERNO  
DELLO SPECCHIO ACQUEO PORTUALE

# INTERPROGETTI

Comune di Marciana Marina

## APPRODO TURISTICO DI MARCIANA MARINA

### VARIANTE AL P.R.P.

#### STUDIO DELLA AGITAZIONE ONDOSA ALL'INTERNO

#### DELLO SPECCHIO ACQUEO PORTUALE

#### INDICE

1) Introduzione .....	1
2) Lo studio delle alternative di Progetto .....	2
2.1) <i>Studio della penetrazione del moto ondoso</i> .....	4
2.2) <i>Analisi dei risultati</i> .....	5
2.2.1 <i>Stato dei luoghi</i> .....	6
2.2.2 <i>Soluzione A – figure da 9 a 13</i> .....	6
2.2.3. <i>Soluzione B figure da 16 a 20</i> .....	7
3) Conclusioni sull'agitazione ondosa .....	7
4) Considerazioni sulla tipologia delle opere di difesa. ....	8
4.1 ) <i>Pennello molo sopraflutto.</i> .....	8
4.2 ) <i>Pennello molo sottoflutto.</i> .....	9

## **1) Introduzione**

Il presente rapporto illustra i risultati degli studi di penetrazione del moto ondoso eseguiti relativamente alle opere necessarie a garantire sicurezza all'ormeggio delle imbarcazioni all'interno dell'ambito portuale in fase di studi.

Si è studiata l'agitazione ondosa all'imboccatura ed all'interno del bacino portuale, utilizzando il modello numerico MIKE 21 EMS che integra in modo esatto l'equazione di Helmholtz.

Tale equazione, come è noto, consente di ricavare i valori dell'agitazione in un bacino portuale tenendo conto dei fenomeni di diffrazione e riflessione, che nel caso specifico sono dominanti per la quasi costanza dei fondali presenti nel porto turistico in esame, una volta eseguiti i necessari dragaggi.

Lo studio su modello matematico è stato condotto considerando una serie di direzioni d'onda e periodi ritenuti significativi per le condizioni meteomarine raggiungibili nel paraggio di Marciana Marina e ricavate nei precedenti studi meteomarini e di propagazione del moto ondoso da largo verso riva. Utilizzando i risultati ottenuti in tali studi si sono considerati tre periodi medi e cinque direzioni.

Si è in questo modo verificata praticamente l'intera gamma di condizioni che si possono presentare all'imboccatura del marina.

L'analisi è stata condotta tenendo in considerazione lo stato dei luoghi e quindi verificando diverse configurazioni di chiusura del molo di sopraflutto e del sottoflutto, al fine di trovare la soluzione ottimale che coniughi la sicurezza alla navigazione in fase di atterraggio al porto e le condizioni vincolanti ambientali esistenti.

## **2) Lo studio delle alternative di Progetto**

Al fine di individuare la migliore configurazione possibile per la nuova bocca di accesso al porto di Marciana Marina, si sono studiate diverse soluzioni tecniche atte al raggiungimento dei seguenti obiettivi:

- a) Salvaguardia massima della propaggine della prateria di poseidonia esistente nell'ambito portuale;
- b) Salvaguardia delle spiagge a ridosso del molo del pesce.
- c) Mantenimento della rotta di accesso al porto su fondali di almeno 5 metri in condizioni di mare mosso ove non si formino frangenti pericolosi per le imbarcazioni in manovra di accosto all'ambito portuale (il porto è innanzitutto un luogo di rifugio ove trovare riparo in caso di mareggiate soprattutto intense)
- d) Riduzione della penetrazione del moto ondoso all'interno del bacino portuale;

A tal fine quindi sono state studiate 2 diverse configurazioni della bocca di ingresso al porto.

### **Ipotesi A (Fig da 9 a 13):**

Sopraflutto: Realizzazione di un pennello della lunghezza di m 80 radicato sulla testata esistente del molo di sopraflutto, con direzione SUD.

Sottoflutto: Realizzazione di un pennello di sottoflutto della lunghezza di m 80. con direzione NE.

### **Ipotesi B (Fig da 14 a 18):**

Sopraflutto: Realizzazione di un pennello della lunghezza di m 80. radicato sulla testata esistente del molo di sopraflutto, ruotato di circa 20° verso EST rispetto a quello della configurazione A.

Sottoflutto: Realizzazione di un pennello di sottoflutto della lunghezza di m 80 con direzione NE.

I coefficienti di riflessione R delle opere delimitanti l'avamposto e la darsena portuale sono stati scelti in funzione delle caratteristiche riflettenti delle stesse, variabili a seconda della tipologia adottata.

Si è assunto così il valore  $R=0.4$  per le mantellate delle opere a gettata in massi naturali,  $R=0.8$  per le pareti verticali previste nel progetto; i pontili e le strutture su pali essendo trasparenti al moto ondoso non sono stati tenuti in considerazione nelle simulazioni.

Lo studio di agitazione interna al porto è stato condotto simulando le direzioni d'onda più probabili per il paraggio e di maggior interesse ai fini della penetrazione del moto ondoso.

Al fine di rappresentare le condizioni ondose ricavate nello studio meteomarinico e significative per prove di agitazione interna portuale, si è ritenuto necessario effettuare diverse simulazioni variando sia il periodo dell'ondazione ( $t=8s$ ,  $t=6s$  e  $t=5s$ ) che la sua direzione di provenienza ( $350^\circ N$ ,  $330^\circ N$ ,  $30^\circ$ ,  $40^\circ$ ,  $50^\circ N$ ).

Essendo il modello lineare è stato possibile utilizzare l'altezza d'onda unitaria all'imboccatura.

Le condizioni di moto ondoso da considerare nell'analisi dei risultati devono rappresentare sia le condizioni di normale operatività e perciò raggiungibili frequentemente nel corso dell'anno ( $T=5$  s), che condizioni più gravose e meno frequenti ( $T=8$  s). Per il paraggio in esame si sono desunti dalla relazione meteomarina precedentemente richiamata il periodo 5 e 6 s per le onde con tempo di ritorno di circa due anni e 8 s per le onde associate ad un tempo di ritorno pari ad circa 20 anni.

I valori prescelti per le prove di simulazione matematica sono i seguenti :

Prova 1:  $H = 1 \text{ m}$ ,  $T = 5.0 \text{ s}$ ,  $\text{Dir} = 30^\circ\text{N}$

Prova 2:  $H = 1 \text{ m}$ ,  $T = 5.0 \text{ s}$ ,  $\text{Dir} = 40^\circ\text{N}$

Prova 3:  $H = 1 \text{ m}$ ,  $T = 5.0 \text{ s}$ ,  $\text{Dir} = 50^\circ\text{N}$

Prova 4:  $H = 1 \text{ m}$ ,  $T = 6.0 \text{ s}$ ,  $\text{Dir} = 330^\circ\text{N}$

Prova 5:  $H = 1 \text{ m}$ ,  $T = 8.0 \text{ s}$ ,  $\text{Dir} = 350^\circ\text{N}$

Tali simulazioni sono state effettuate tanto per lo stato dei luoghi quanto per i 2 diversi lay out di progetto per complessive 15 diverse simulazioni.

### ***2.1) Studio della penetrazione del moto ondoso***

Con fondale costante l'equazione che regola la propagazione del moto ondoso per onde armoniche lineari ( $H/L \ll 1$  dove  $H$  ed  $L$  sono rispettivamente l'altezza e la lunghezza d'onda) è l'equazione ellittica di Helmholtz (caso particolare della mild-slope equation, che risolve i problemi di propagazione su fondali variabili).

L'equazione di Helmholtz è in grado di simulare il fenomeno combinato di diffrazione- riflessione del moto ondoso in assenza di fenomeni dissipativi. Nella situazione presa in esame le resistenze offerte dal fondo (bottom friction) sono del tutto trascurabili a causa della limitata area di propagazione presa in esame. Simile considerazione può essere fatta per le dissipazioni viscosse interne al fluido che generalmente risultano trascurabili rispetto agli altri fenomeni in gioco; è comunque da sottolineare che trascurando i fenomeni dissipativi si opera in favore di sicurezza.

Per l'applicazione del modello di propagazione del moto ondoso si è discretizzato non solo il bacino portuale ma anche una ampia area costiera, al fine di evidenziare oltre all'effetto delle nuove opere anche gli effetti di riflessione ed assorbimento che sono generati dalle strutture e dalle spiagge esistenti.

Il passo di discretizzazione scelto di 5m x 5m, pari ad 1/12 della lunghezza d'onda minima propagata, consente una puntuale discretizzazione delle opere ed una ottima rispondenza del modello ai fenomeni in esame. L'area discretizzata, delle dimensioni di 1.3 Km x 1,8 Km, per un totale di 93600 nodi di calcolo, è stata quella su cui si sono effettuati i calcoli ma, al fine di ottenere una maggiore visibilità della zona interessata dal bacino portuale, i risultati sono espressi quindi considerando un inquadramento dettagliato della zona in esame.

Per la propagazione del moto ondoso, in relazione ad ogni direzione di provenienza è stata individuata una retta rappresentativa della generazione del moto ondoso incidente (altezza, direzione e periodo). Essendo il modello lineare, per ottenere il valore dell'altezza d'onda in un punto per altezze di onda incidenti diverse dall'unitaria è sufficiente moltiplicare l'altezza determinata all'interno dei bacini per il valore effettivo (in m) dell'onda incidente.

## ***2.2) Analisi dei risultati***

Anto per la configurazione attuale quanto per i diversi lay out portuale studiati, le immagini di riferimento rappresentano le percentuali residue di altezza d'onda che penetra all'interno del bacino portuale e che colpisce in ogni caso lo specchio acqueo antistante e le spiagge a ridosso del molo del Pesce. Come già detto occorre tener in considerazione che le onde più importanti sono quelle provenienti dal IV quadrante (330-350°N) aventi altezza d'onda incidente pari o superiore ai 4.5m mentre le ondazioni provenienti dal I quadrante hanno caratteristiche di altezza d'onda inferiore, pari a circa 1.20 m



### *2.2.1 Stato dei luoghi*

Dall'esame delle figure da 1 a 8 possiamo evidenziare le seguenti conclusioni. La penetrazione del moto ondoso all'interno del bacino portuale nella configurazione attuale risulta rilevante con valori massimi di circa il 60% dell'onda incidente pari a 1.5 m (altezza d'onda residua nel bacino pari a 0.9 m) per le ondate provenienti dal I quadrante. Importanti fenomeni di riflessione delle onde sulle scogliere del "cotone" si verificano per le ondate provenienti dal IV quadrante riscontrando anche in questo caso una penetrazione all'interno del bacino portuale di onde riflesse con altezza anche superiore al metro e fino a circa 50 cm a metà bacino.

L'assenza di una protezione di sottoflutto per gli eventi di minore intensità è evidente.

Le spiagge in destra e sinistra del molo del pesce sono esposte agli agenti meteo marini in maniera rilevante per le ondate del IV quadrante.

### *2.2.2 Soluzione A – figure da 9 a 13*

Il bacino portuale risulta maggiormente protetto dal moto ondoso incidente proveniente tanto dal IV quadrante quanto dal I. Si riscontra ancora penetrazione del moto ondoso all'interno del bacino portuale per ondate provenienti dal IV quadrante a causa dell'effetto di riflessione dato dalle spiagge in sinistra e destra del molo del pesce e delle scogliere del "Cotone". La rotta di accesso al porto risulta molto spostata verso terra su zone ove incidono tanto le onde dirette quanto quelle riflesse, determinando pericolosità nella manovra di accosto ed accesso.



### 2.2.3. Soluzione B figure da 16 a 20

La rotazione del pennello di circa 20°, oltre ad andare ad incidere su un fondale con minore presenza di posidonia, migliora fortemente la protezione data al porto turistico. Si riducono gli effetti tanto per le onde dirette quanto per le onde riflesse. La rotta di accesso risulta leggermente migliore rispetto alla configurazione A.

Importante risultato raggiunto inoltre riguarda le spiagge in sinistra ed in destra del “molo del pesce” che sia per le ondatazioni provenienti dal IV quadrante (le più intense) che per quelle provenienti dal I quadrante risultano molto più protette soggette ad una notevole riduzione dell’impatto energetico dovuto al moto ondoso.

Dal raffronto delle figure 6, 13, 18 si desume infatti:

- la spiaggia in destra del “molo del pesce”:
  - fig. 6 è soggetta all’azione diretta del moto ondoso proveniente dal IV quadrante con onde incidenti di oltre 4 m.
  - fig. 13 inizia una parziale protezione della spiaggia nei primi 30 m a ridosso del molo ove le onde incidenti sono meno intense;
  - fig. 18 quasi tutta la spiaggia risulta protetta dal moto ondoso proveniente dal IV settore;
- parimenti accade per la spiaggia in sinistra del “molo del pesce” ove l’azione tende ad annullarsi completamente.

### 3) Conclusioni sull’agitazione ondosa

Dalle analisi condotte risulta evidente come la soluzione B sia quella che raggiunge il miglior risultato tanto dal punto di vista della funzionalità portuale quanto da quello ambientale di riduzione degli impatti del moto ondoso sulle spiagge e di vicinanza ai banchi di Poseidonia oceanica.

La rotta di accesso al porto si mantiene su fondali di circa 5 metri, atti a garantire, anche in condizioni di mare mosso, un sicuro accesso portuale.

#### **4) Considerazioni sulla tipologia delle opere di difesa.**

##### **4.1 ) Pennello molo sopraflutto.**

Dall'analisi sopra esposta si evidenzia come il pennello di testa atto alla protezione del bacino interno portuale principalmente per gli eventi del I quadrante risulta fortemente esposto all'azione del moto ondoso incidente proveniente dal IV quadrante.

Dall'analisi della fig. 19 rappresentante la sovrapposizione delle figure 7 e 18 ovvero dell'agitazione ondosa esistente nella configurazione attuale ed il nuovo lay out proposto, si legge bene come il pennello venga a configurarsi come un prolungamento verso terra della testata del molo foraneo e quindi a trovarsi nell'area di diffrazione della testata del molo esistente con intensità dell'onda incidente variabile dal 100% al 50% di quella che incide il molo stesso.

Dimensionalmente pertanto l'infrastruttura risulta soggetta ad onde con intensità di oltre 4,5 m provenienti da 330°N e 350°N che subiscono un leggero fenomeno rifrattivo dato dalla testata del molo esistente.

Occorrerà inoltre tener conto che l'azione dei flutti si esplica tangenzialmente al molo stesso e non perpendicolarmente, aggravando fortemente le condizioni di stabilità dei massi di protezione, in maniera del tutto analoga ai ricci di testata dei moli foranei.

In considerazione di quanto sopra è prevedibile che l'opera debba essere realizzata con mantellata di protezione in tetrapodi (o sistemi equivalenti) di dimensioni analoghe a quelle esistenti, con quota sommitale di almeno 4.0 m su livello medio mare se tracimabile. Particolari accorgimenti atti a ridurre l'impatto del moto ondoso (ad esempio potenziamento del riccio di testata esistente, risvolto del muro paraonde per

pochi metri iniziali, potenziamento della parte sommersa del molo) potranno essere adottati in sede di progettazione esecutiva per limitare al massimo la quota sommitale dell'opera.

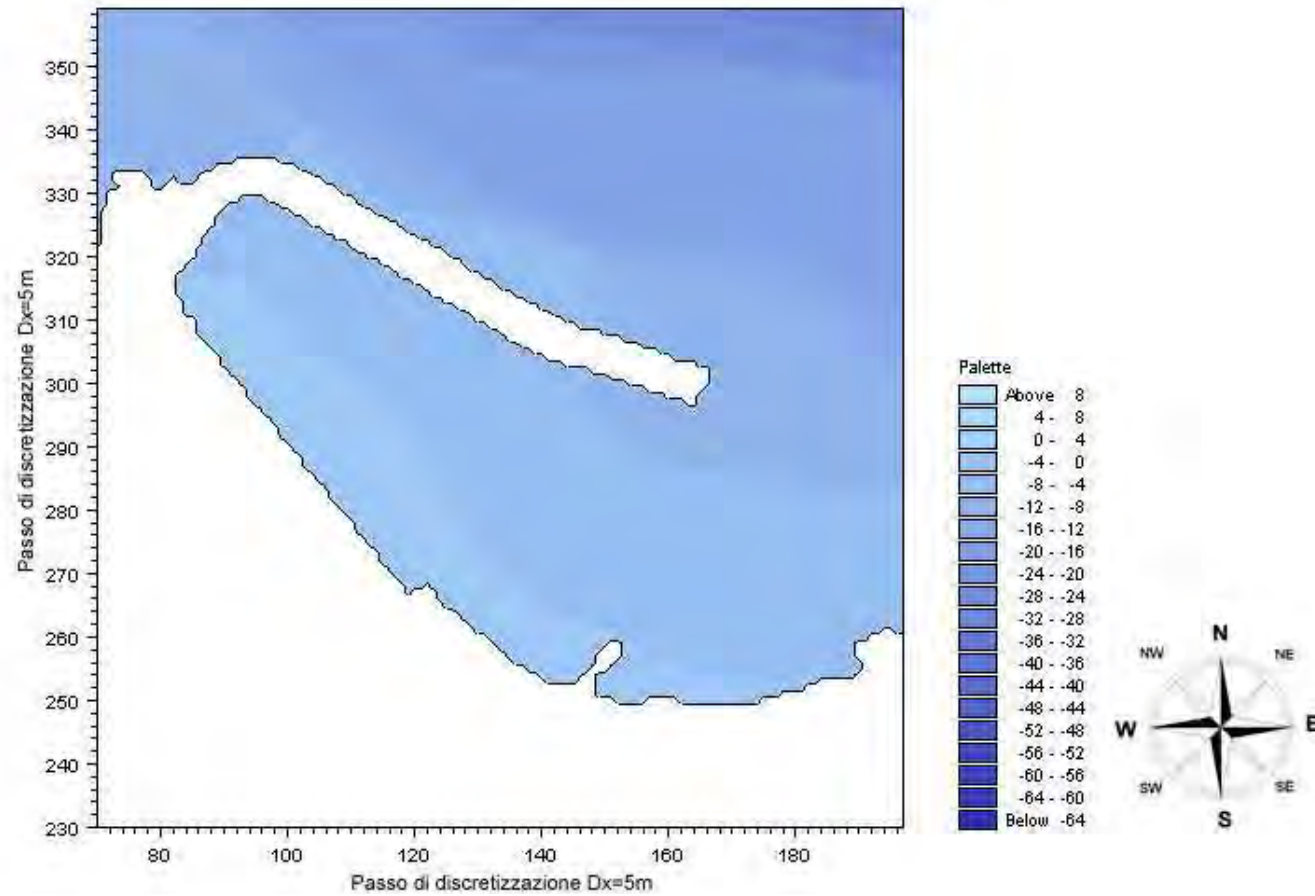
#### **4.2 ) Pennello molo sottoflutto.**

Quest'opera risulta fortemente protetta dall'azione del moto ondosso dalle opere foranee esistenti nonché dal pennello di sopraflutto di progetto. In particolare le ondatazioni massime incidenti sono quelle provenienti da 50 °N e da 350°N; nel primo caso (fig. 16) le onde impattano direttamente l'opera dopo aver subito il fenomeno rifrattivo del nuovo pennello di sopraflutto. Per queste onde si prevede una intensità residua di circa il 40% dell'onda incidente pari ad 1.2 m quindi circa 60 cm. Viceversa le onde con provenienza 350° N ( Fig. 18), anche esse rifratte dal pennello di sopraflutto, raggiungono il molo con una intensità residua del 20% pari in questo caso a circa 80/100 cm.

Tale opera può pertanto realizzarsi in scogli naturali di piccole dimensioni con quota sommitale contenuta entro i due metri dal livello medio mare.

Dott. Ing. Marco Pittori





**Figura 1: Batimetria - Stato dei luoghi**

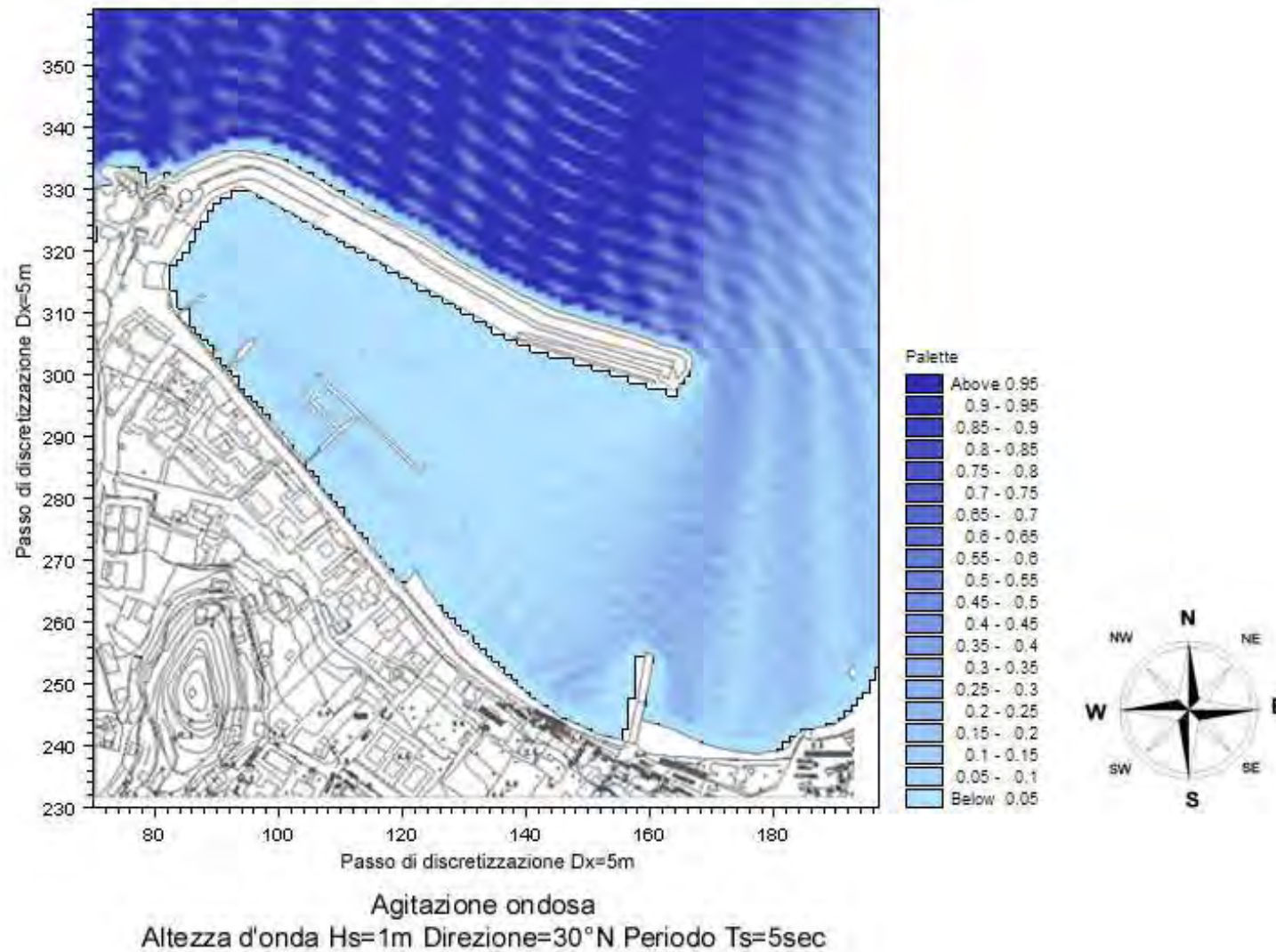


Figura 2



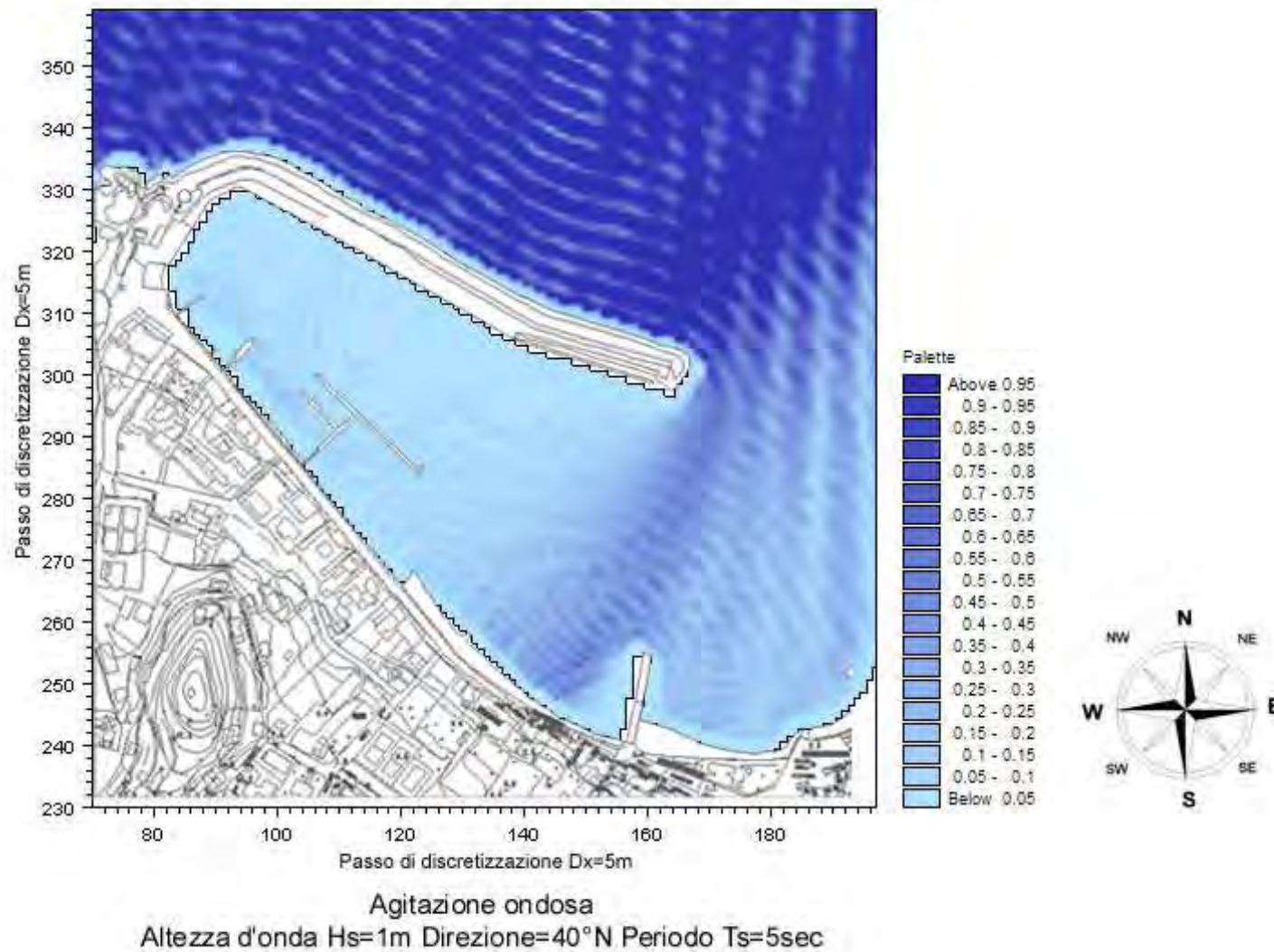


Figura 3

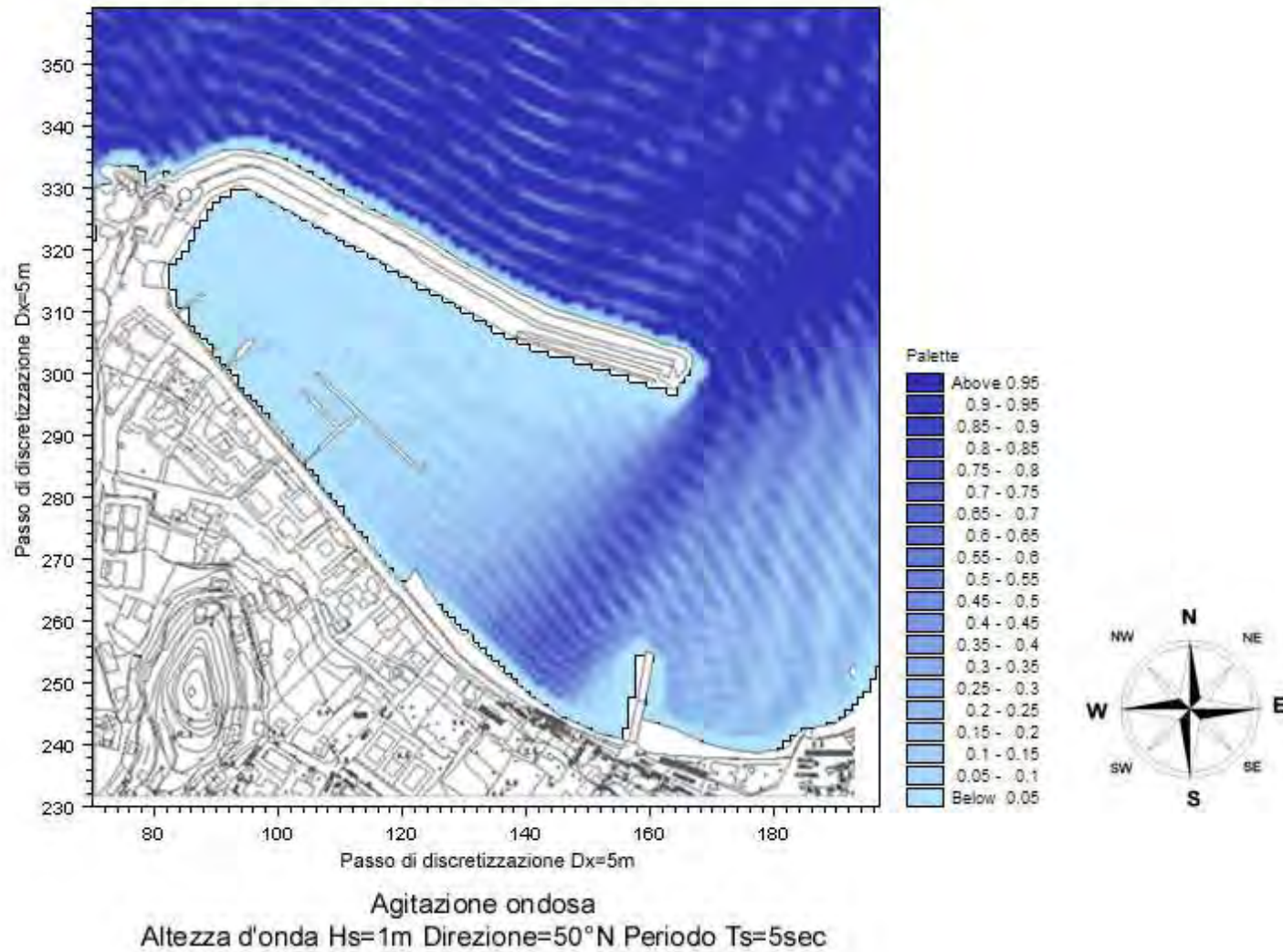


Figura 4



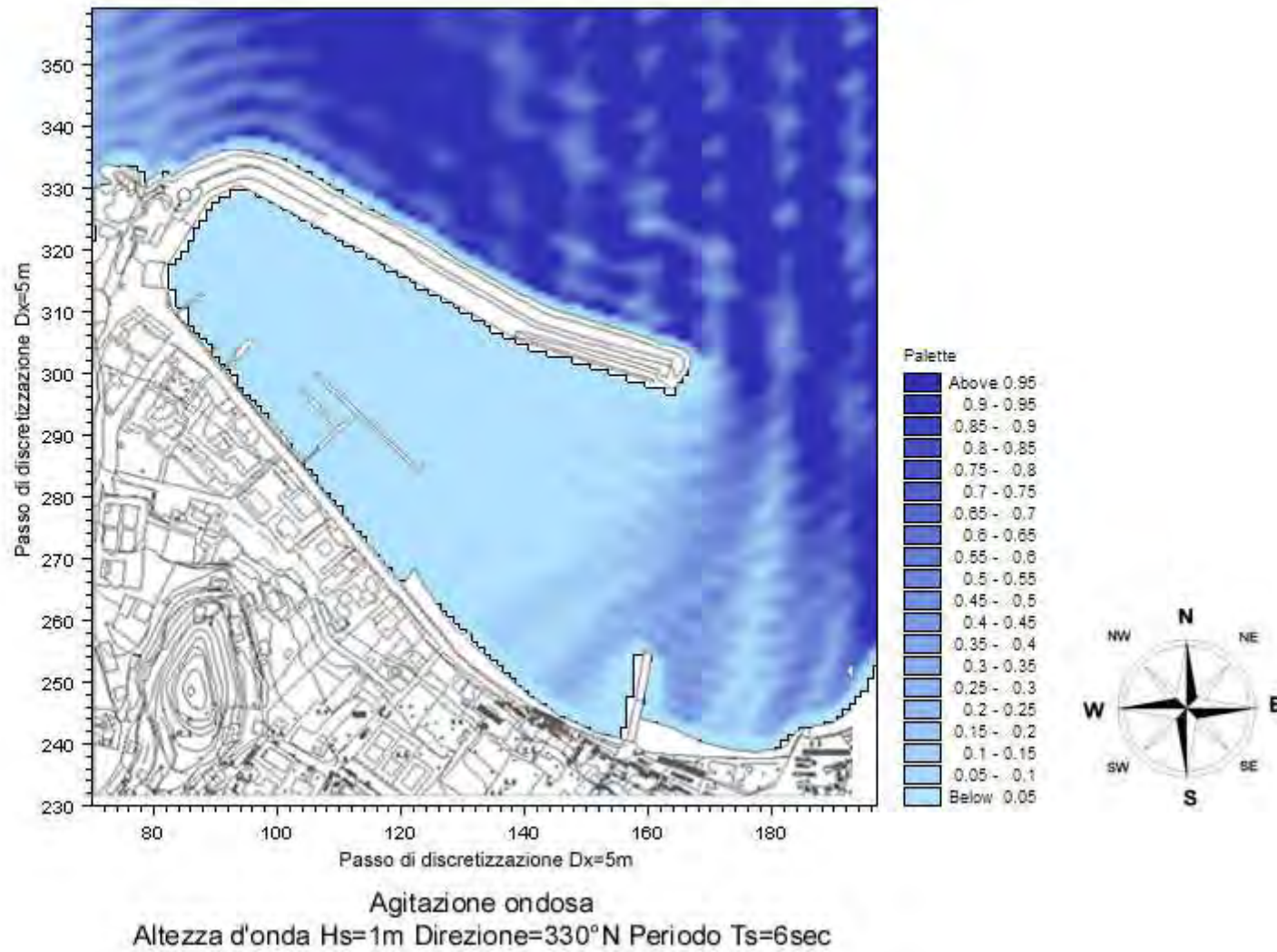


Figura 5

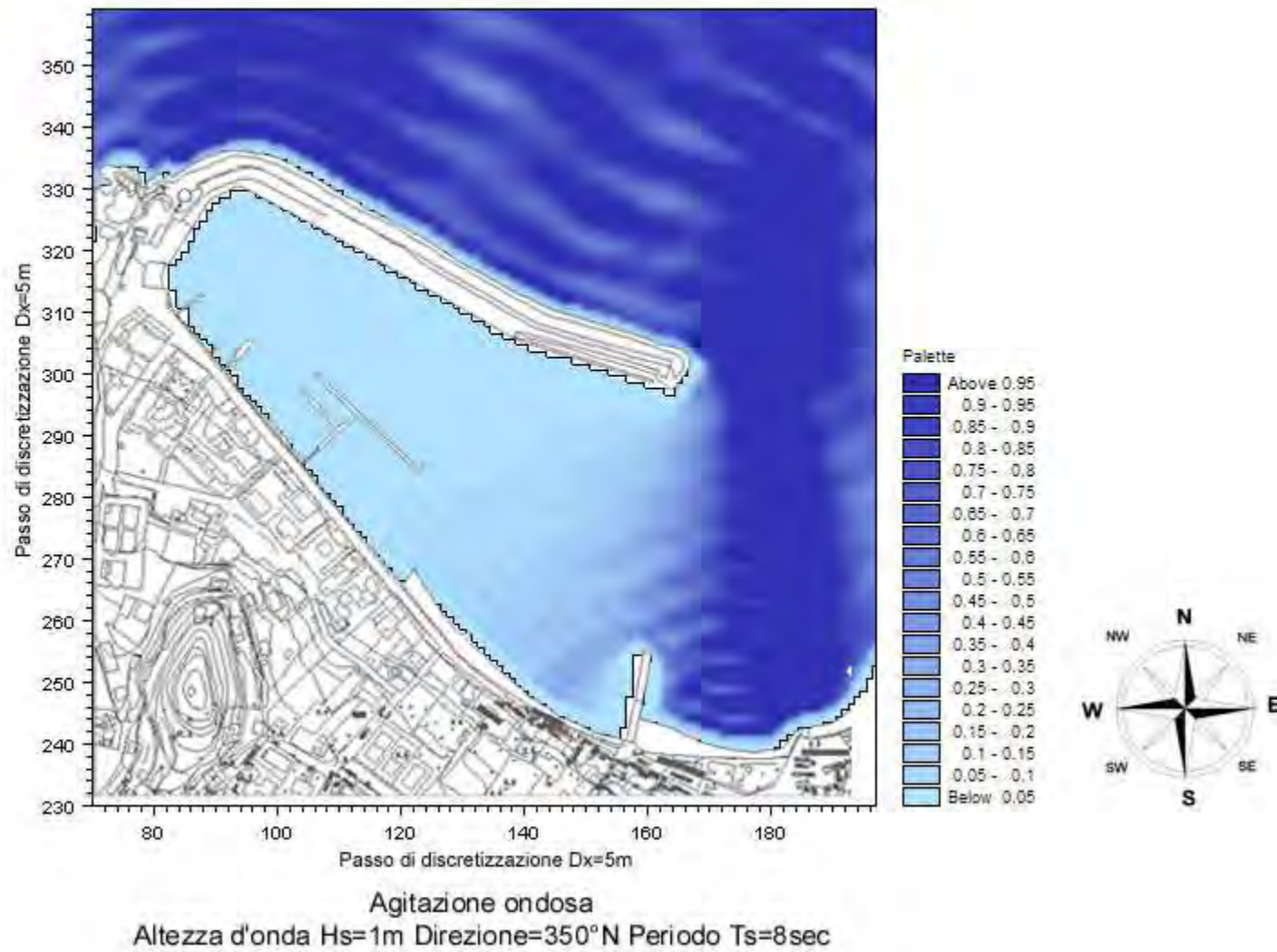


Figura 6

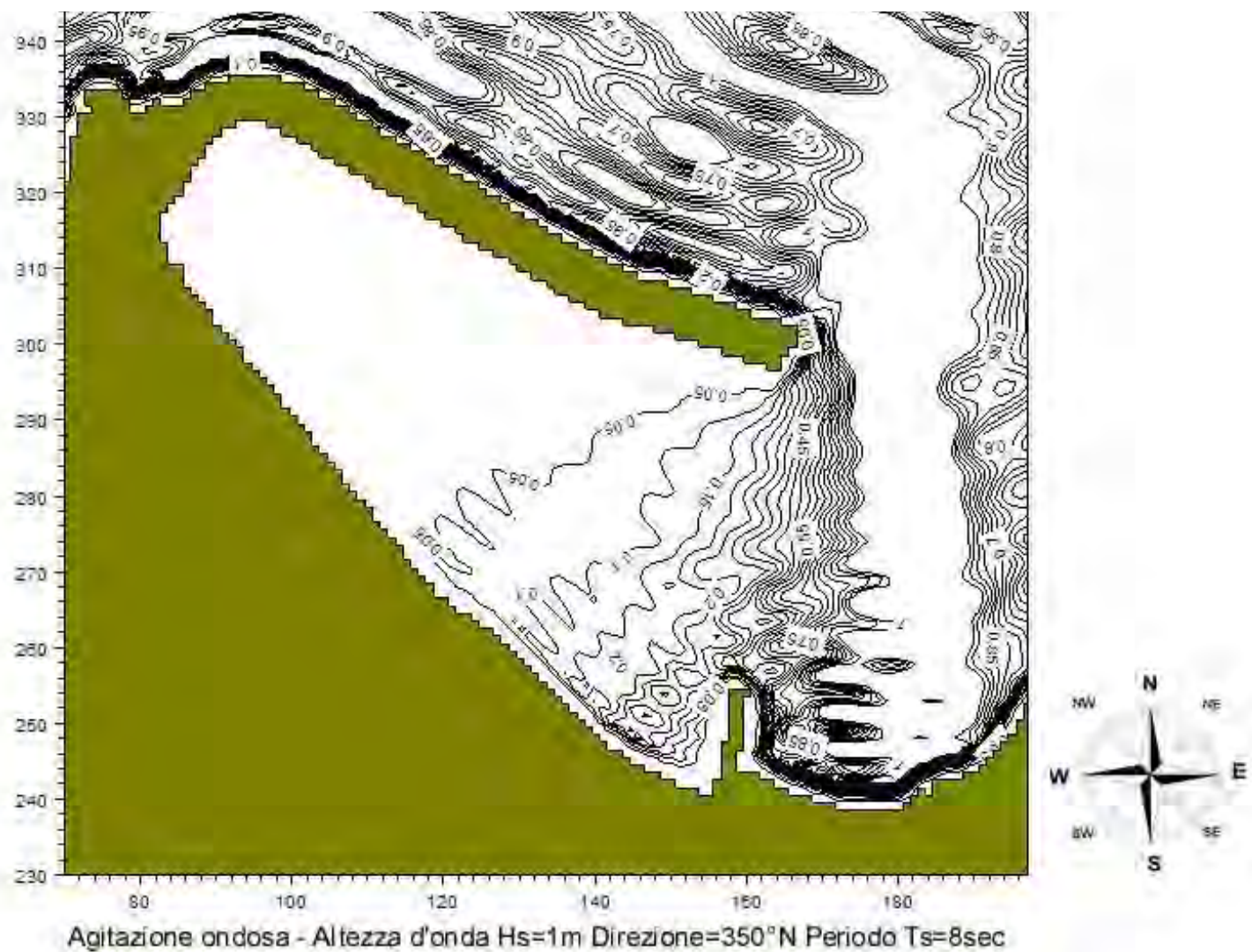


Figura 7





Figura 8

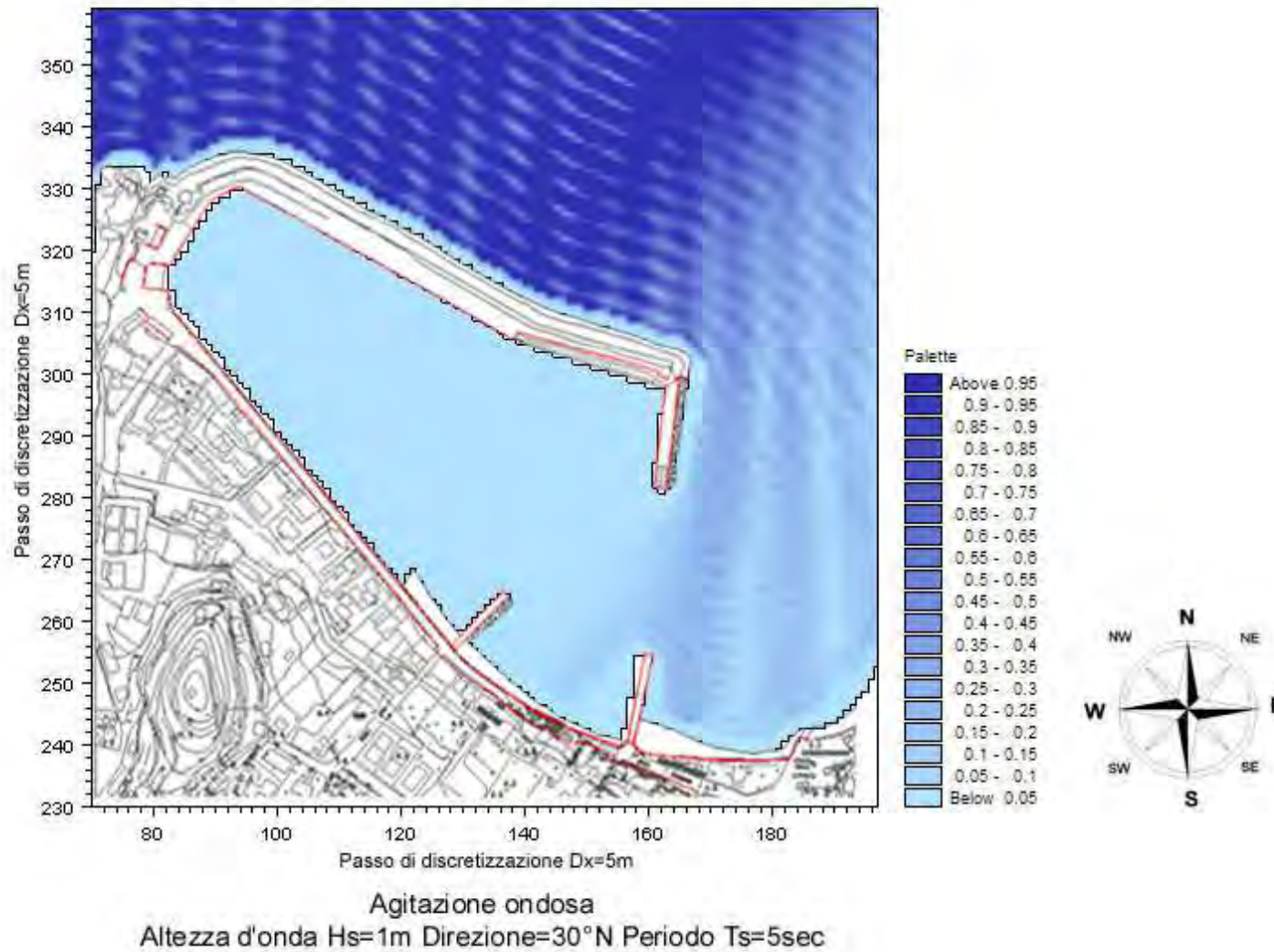


Figura 9



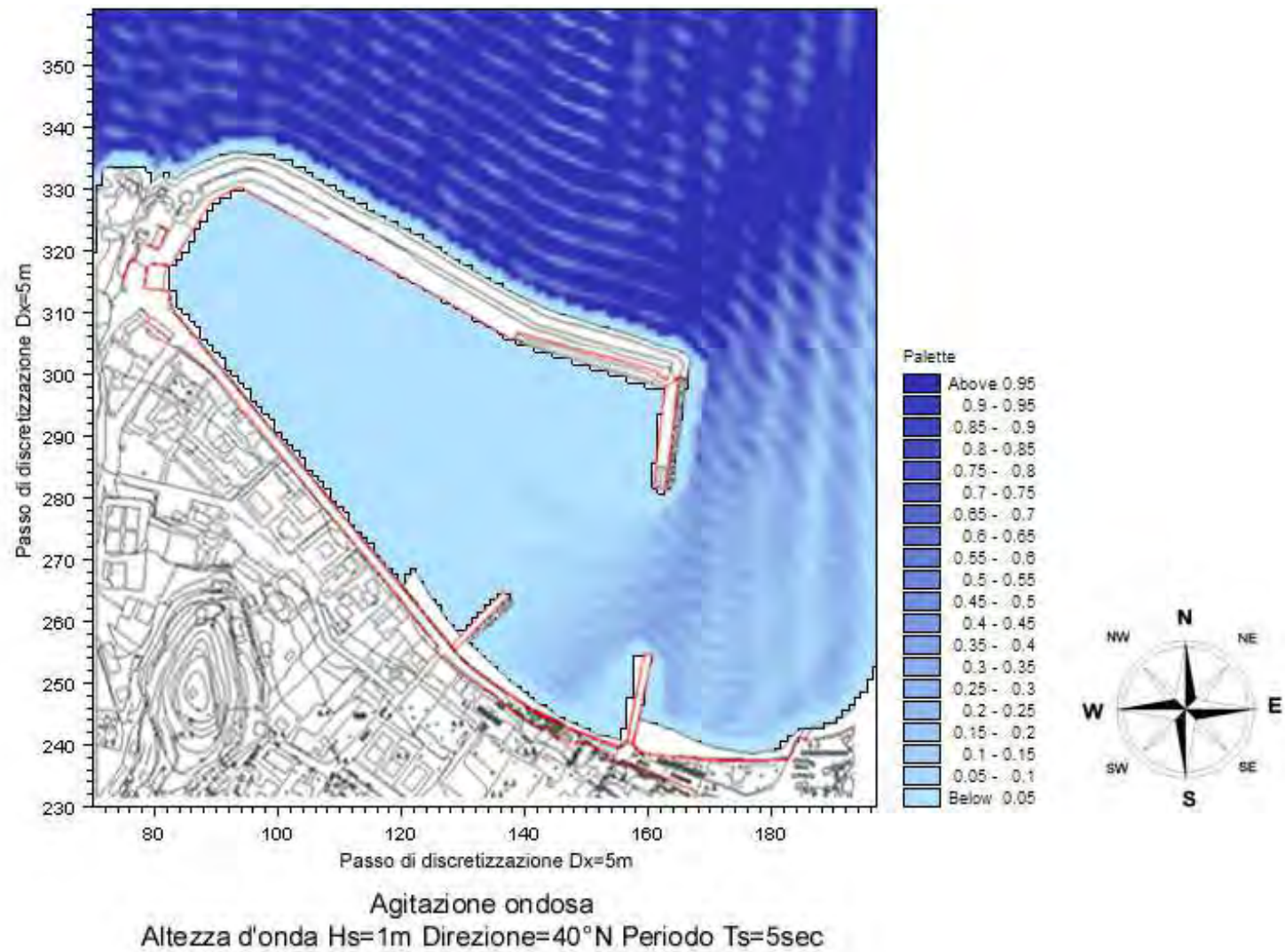


Figura 10

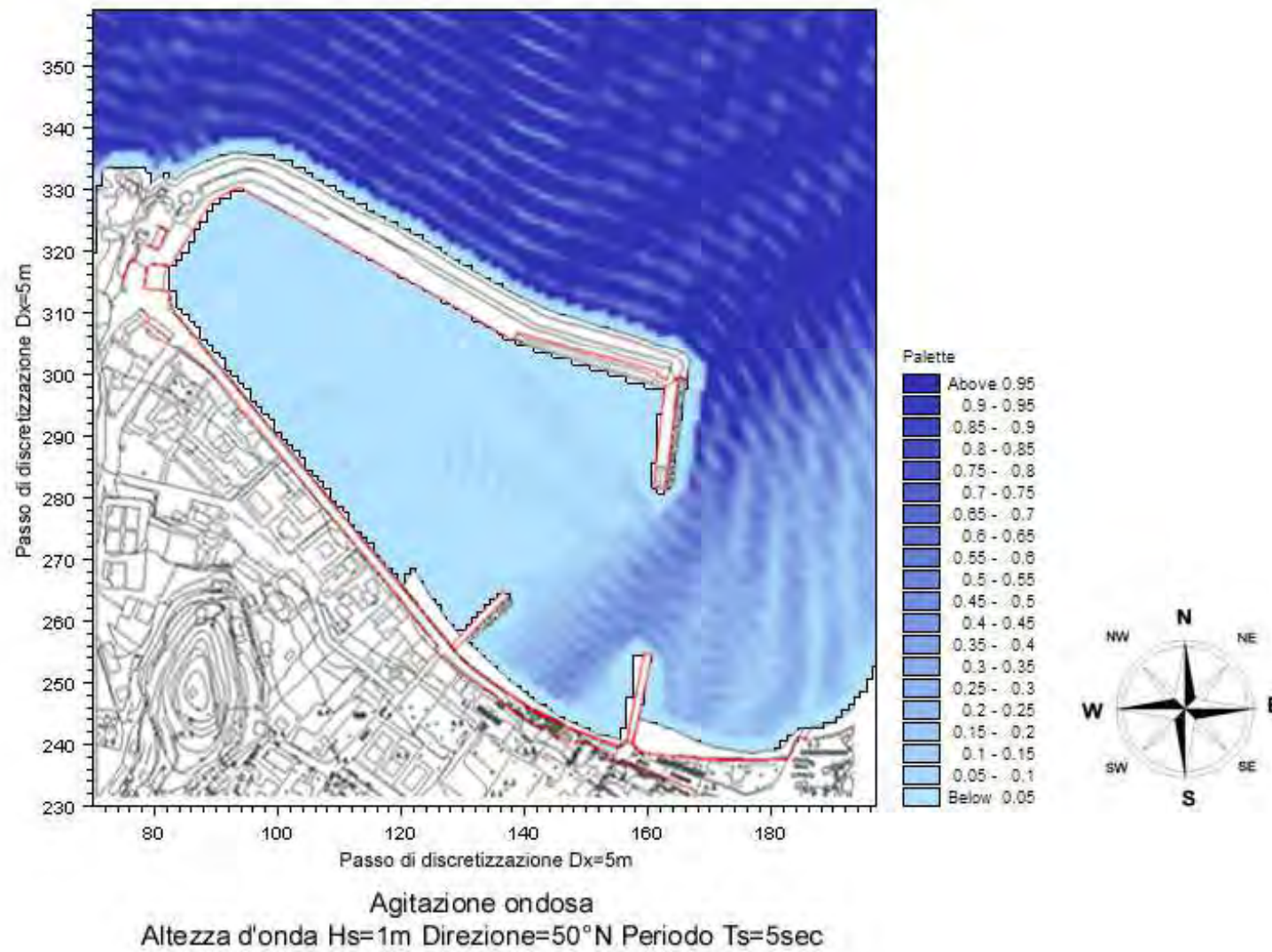


Figura 11



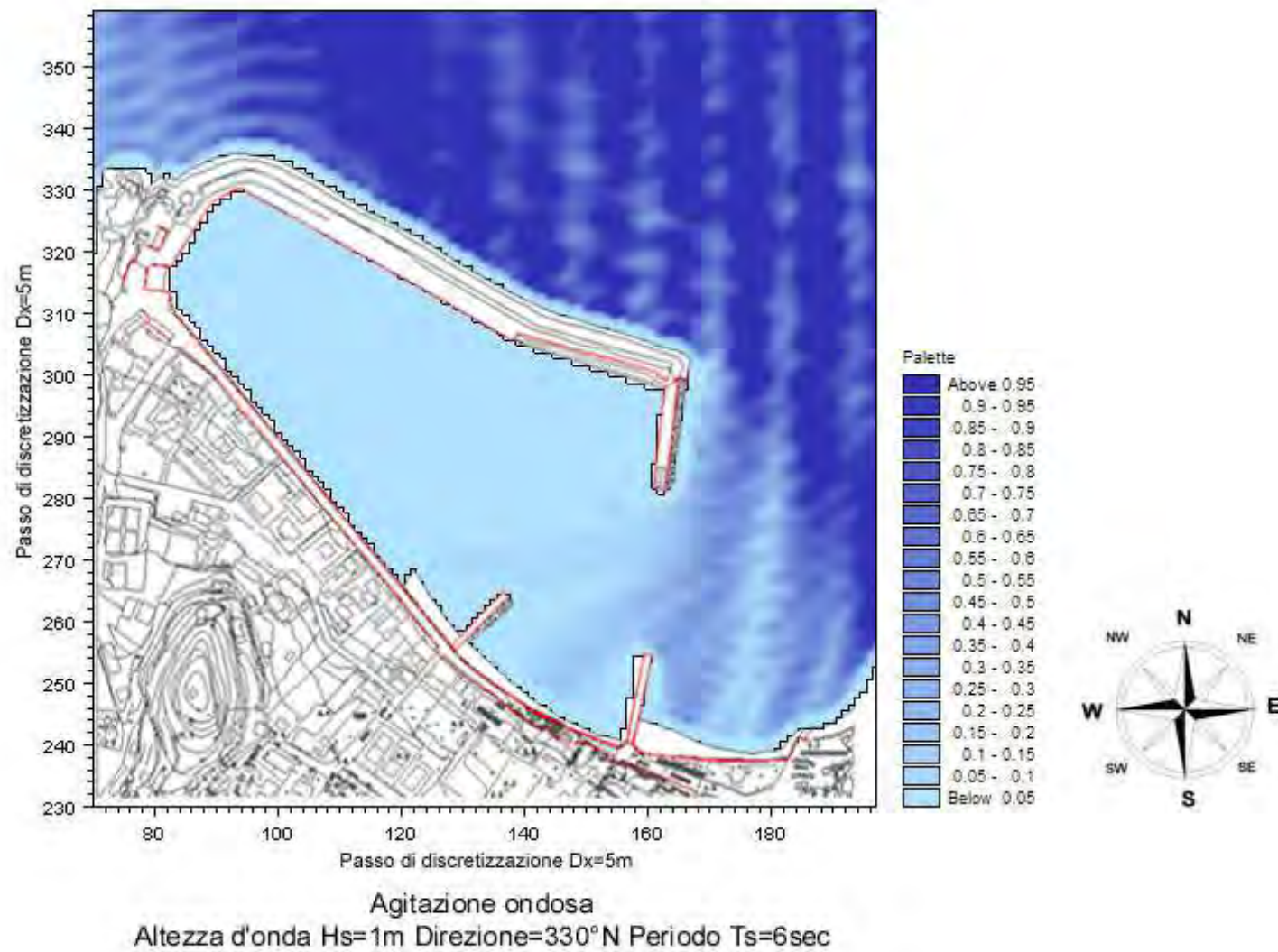


Figura 12

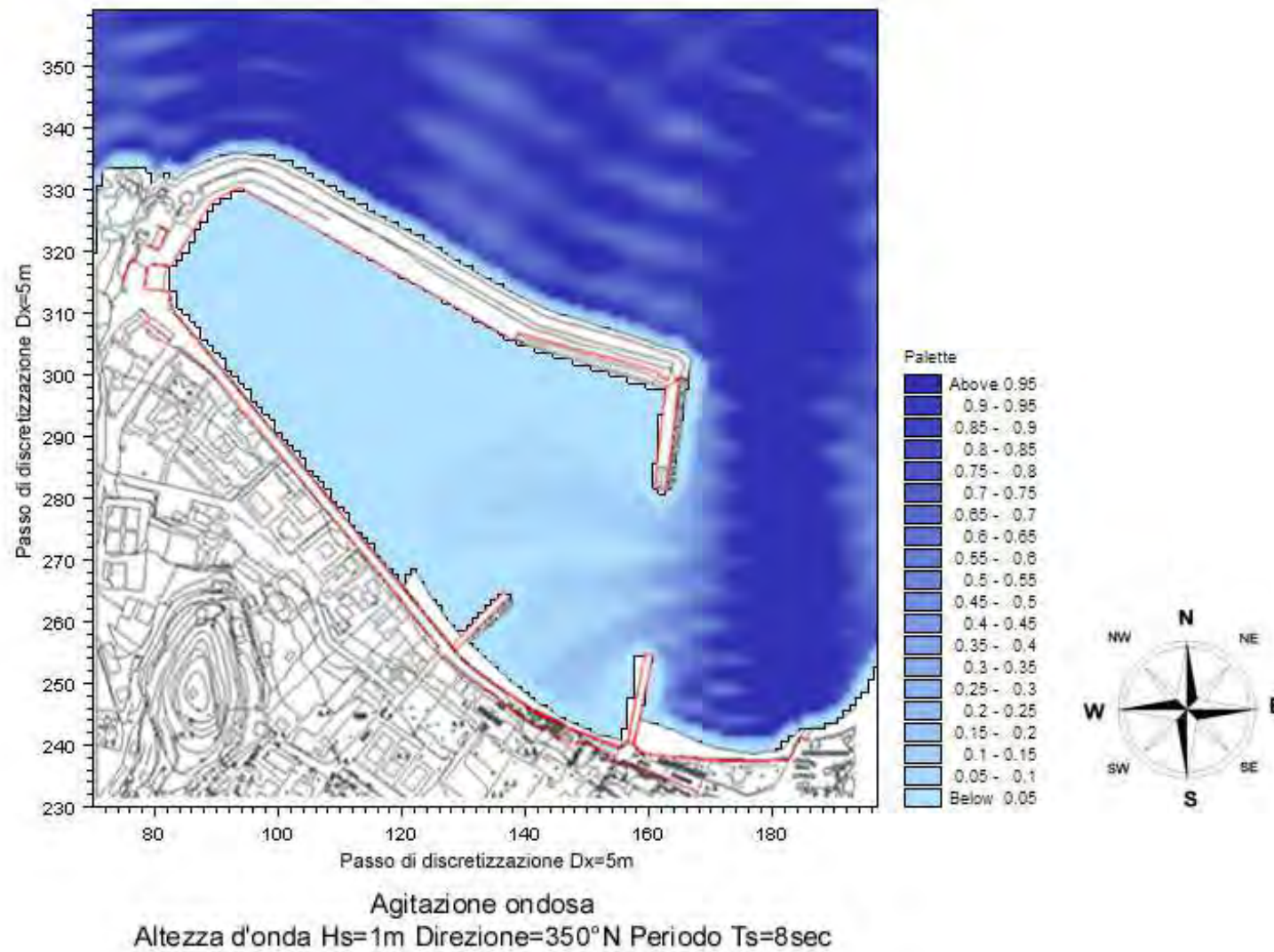


Figura 13

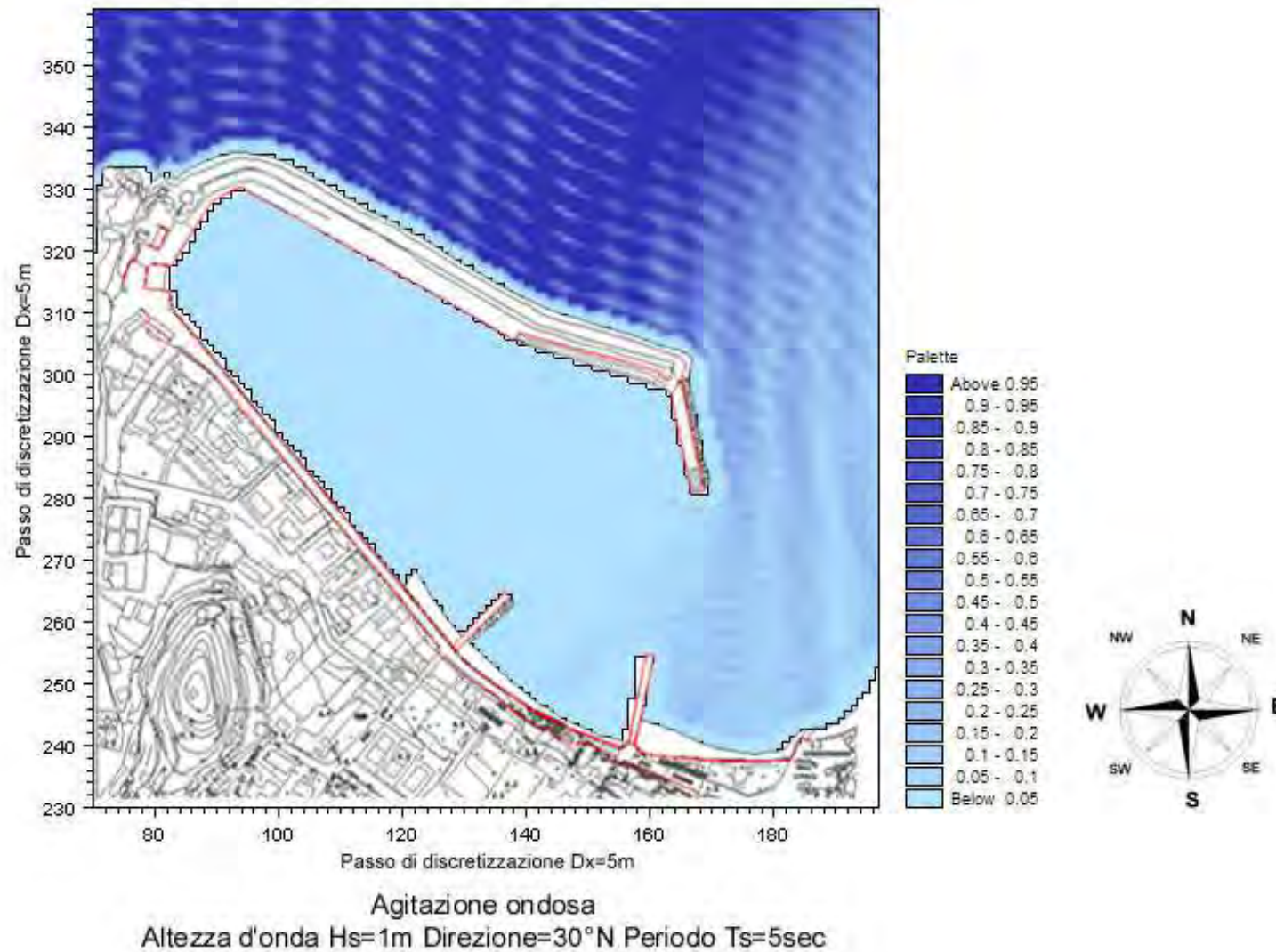


Figura 14



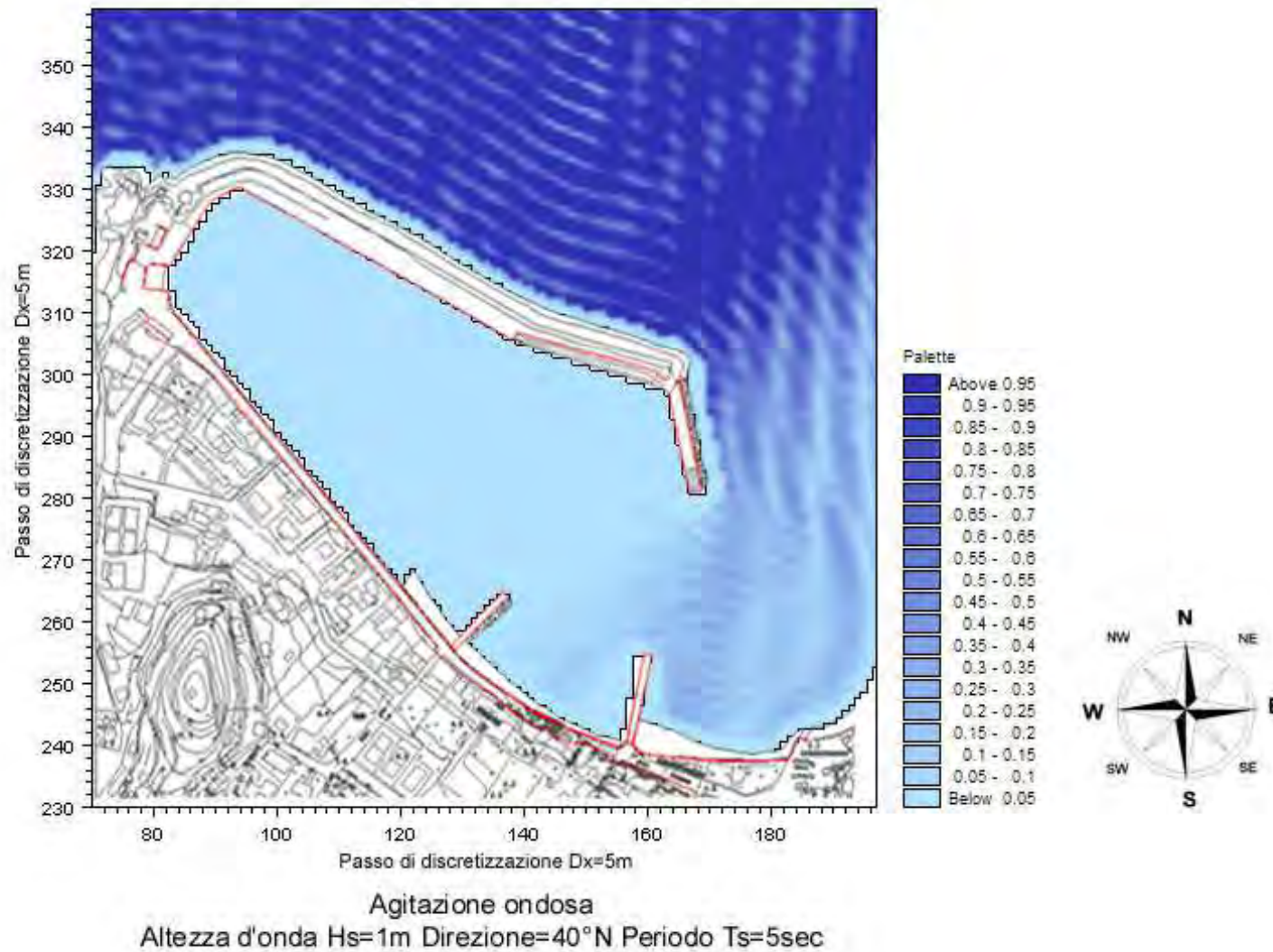


Figura 15

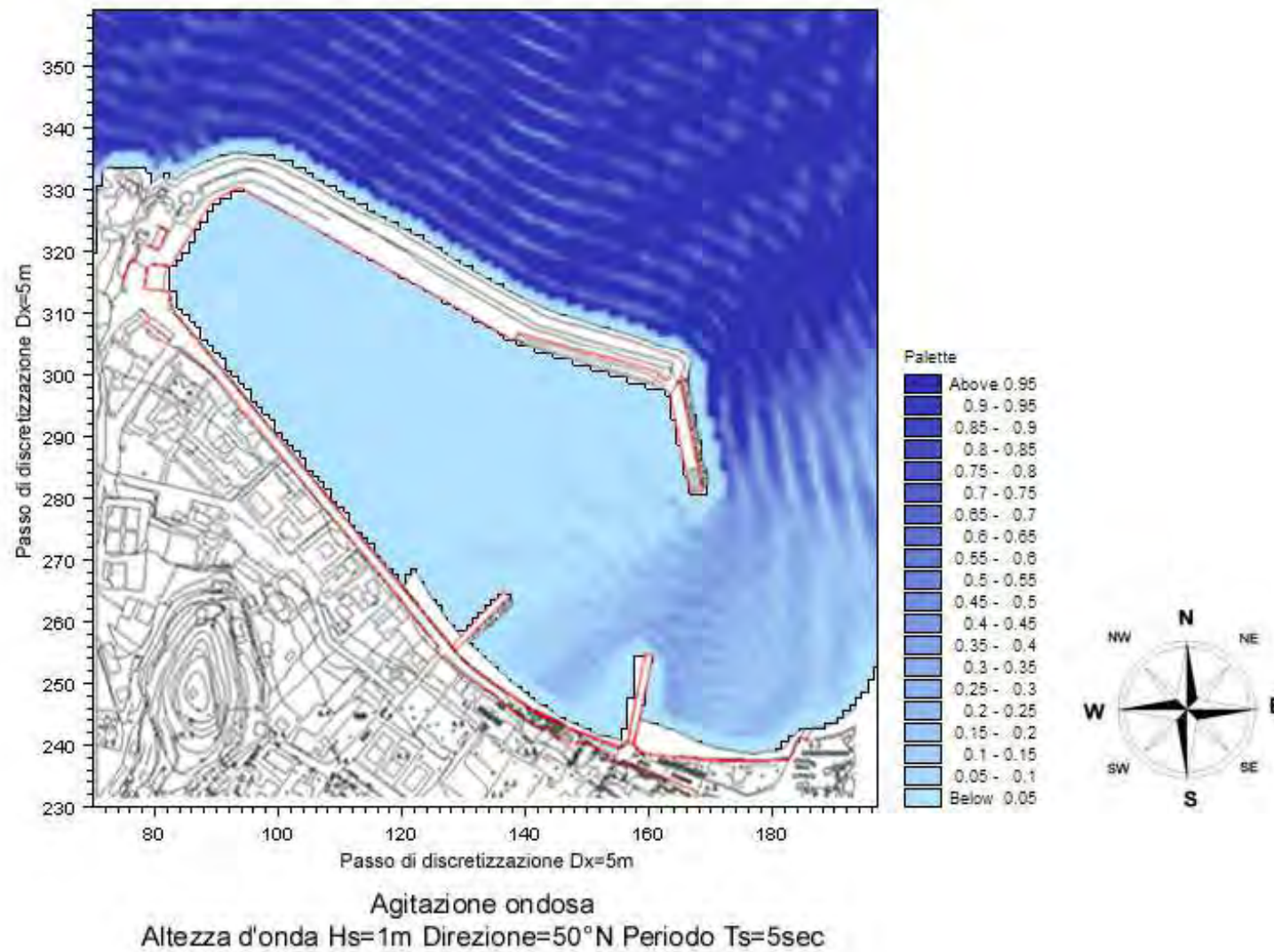


Figura 16

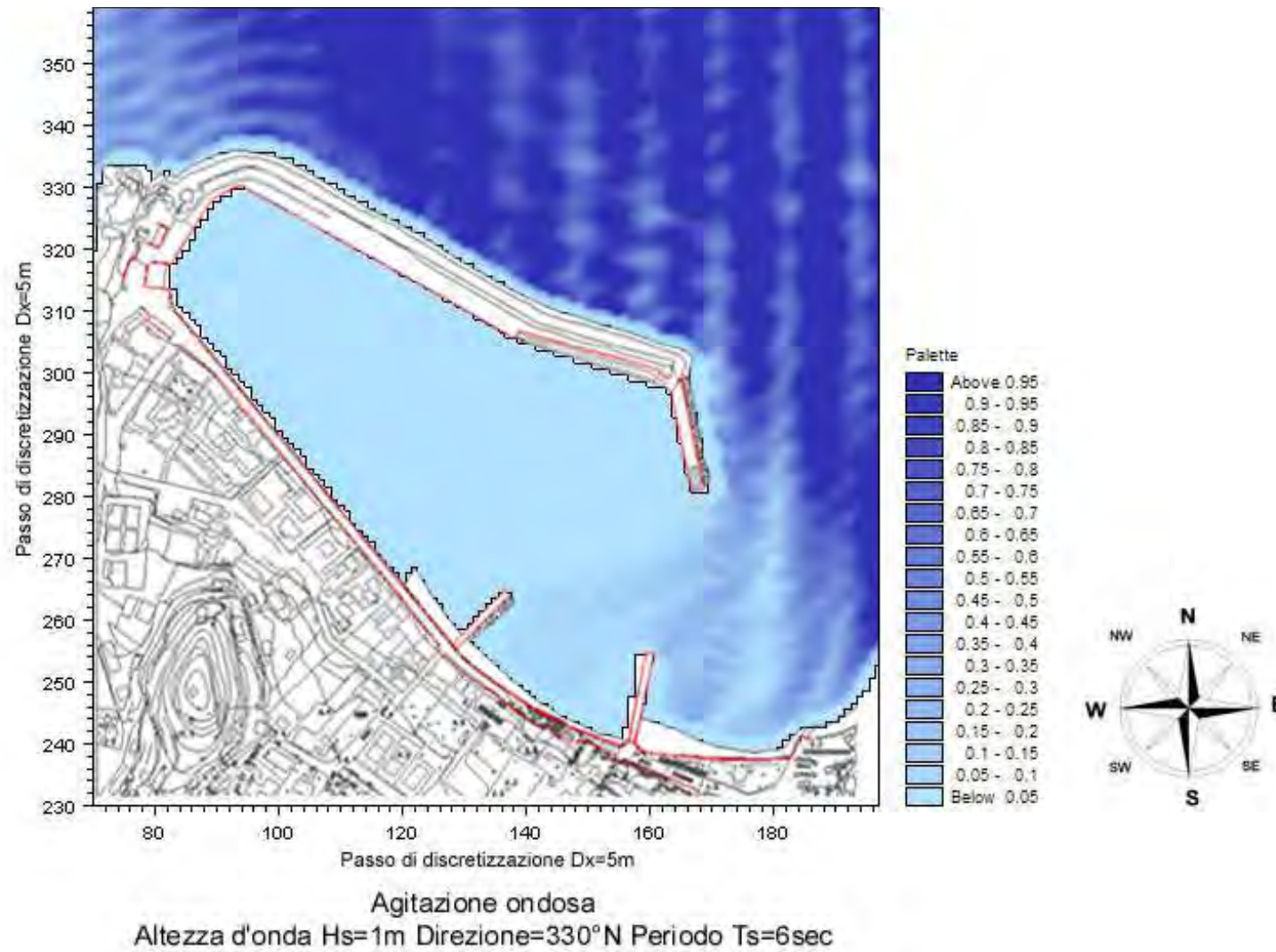


Figura 17



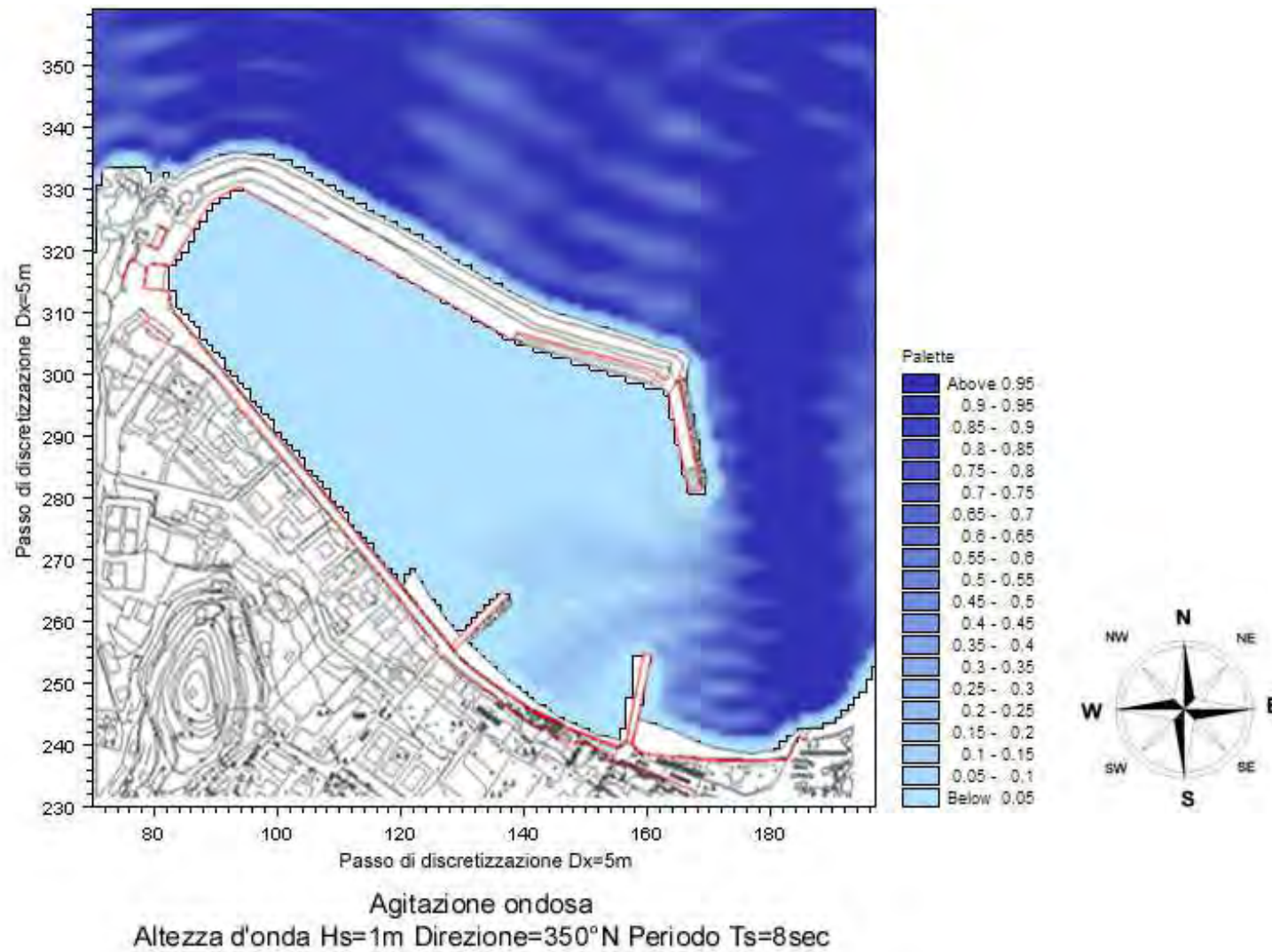


Figura 18



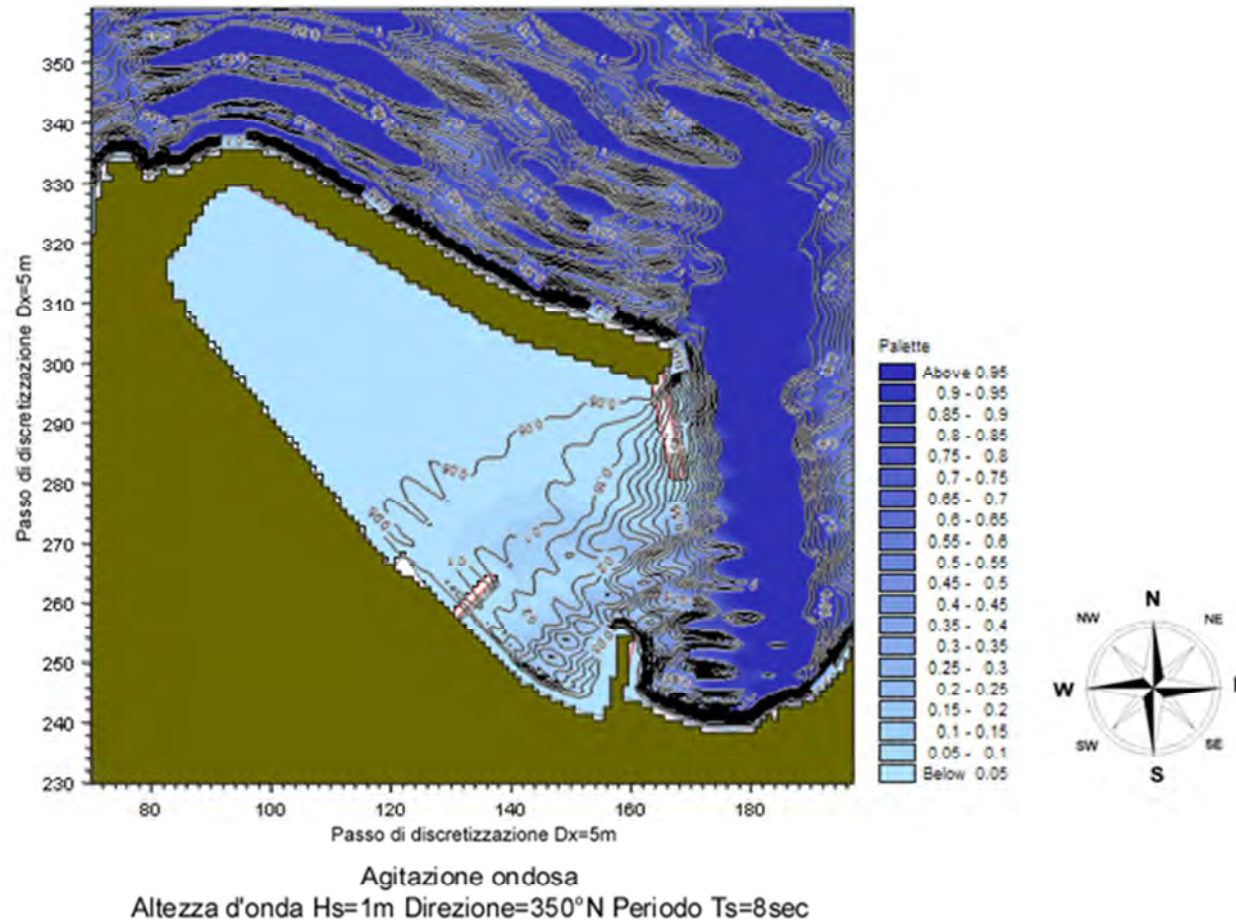


Figura 19

Sovrapposizione nuovo lay out portuale con la simulazione ondosa dello stato dei luoghi per ondatazioni provenienti da 350°N19