



Autorità di Sistema Portuale
dei Mari Tirreno Meridionale
e Ionio

AUTORITA' DI SISTEMA PORTUALE DEI MARI TIRRENO MERIDIONALE E IONIO

PORTO DI GIOIA TAURO

RESECAZIONE BANCHINE DI PONENTE TRATTI G-H-I

PROGETTO DEFINITIVO

DESCRIZIONE

**STUDIO DELL'AGITAZIONE
ONDOSA RESIDUA**

CODICE ELABORATO

R15

SCALA

-

Rev.	Data	Causale
1	Gennaio 2022	RETTIFICA RELAZIONI GENERALI
0	Dicembre 2021	EMISSIONE

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Ing. Maria Carmela De Maria

CAPOGRUPPO-MANDATARIA



SEACON s.r.l.

Ing. Lucio Abbadessa

SEACON s.r.l.

l'Amministratore Unico

Dott. Ing. Lucio Abbadessa

Lucio Abbadessa

MANDANTE

INTERPROGETTI

Ing. Marco Pittori

Interprogetti S.r.l.

Amministratore Delegato

Dott. Ing. Marco Pittori

COLLABORATORI:

Ing. Corrado Montefoschi

Ing. Fabio S. Mainero Rocca

Ing. Riccardo Intonti

COLLABORATORI:

Arch. Simone Peticarini

Ing. Giulia Zanza

Arch. Francesca Romana Monass

Arch. Valeria Trentini

R.T.P.

MANDANTE

ACALE SRL
Ingegneria + architettura

Ing. Livio Gambacorta - Ing. Elisabetta Bersanetti

ACALE SRL
AMMINISTRATORE DELEGATO
E DIRETTORE TECNICO
Ing. Livio Gambacorta
Via Tommasi, 25 - 60124 Ancona
P.IVA 02399650427

COLLABORATORI:

Ing. Priscilla Quattrini

Ing. Nicola Di Paola

Ing. Francesca Acquaviva

Ing. Martina Nori

MANDANTE

**Geotechnical
Engineering
Services S.r.l.**

Ing. Alessandro Vita

COLLABORATORI:

Ing. Alessio Gerboni

Ing. David Segato

GES S.r.l.
Geotechnical Engineering Services
Il Direttore Tecnico
Ing. Alessandro Vita

Alessandro Vita

Progettista Responsabile dell'integrazione
tra le varie prestazioni specialistiche :

Ing. Massimo Vitellozzi

STUDI E RELAZIONE GEOLOGICA :
Geologo Giordano Fortuna (Acale S.r.l.)



 Autorità di Sistema Portuale dei Mari Tirreno Meridionale e Ionio	PORTO DI GIOIA TAURO Resezione Banchine di Ponente Tratti G-H-I	Titolo elaborato: Studio dell'agitazione ondosa residua
	PROGETTO DEFINITIVO	Data: Gennaio 2022

**AUTORITA' DI SISTEMA PORTUALE
DEI MARI TIRRENO MERIDIONALE E IONIO**

PORTO DI GIOIA TAURO

LAVORI DI RESECAZIONE BANCHINE DI PONENTE TRATTI G-H-I

PROGETTO DEFINITIVO

STUDIO DELL'AGITAZIONE ONDOSA RESIDUA

INDICE

1	PREMESSE	2
2	CENNI SUL MODELLO MATEMATICO ADOTTATO	3
3	CLIMA METEOMARINO DI PROGETTO.....	3
4	CONFIGURAZIONE DEL DOMINIO DI CALCOLO	4
	4.1 Batimetria.....	4
	4.2 Dominio di calcolo.....	4
	4.3 Generazione del moto ondoso e condizioni al contorno	5
5	RISULTATO DELLE SIMULAZIONI.....	6
	5.1 Criterio di presentazione dei risultati	6
6	CONCLUSIONI.....	6
	APPENDICE : DESCRIZIONE DEL MODELLO MATEMATICO CGWAVE.....	7
	ALLEGATO 1	10
	ALLEGATO 2	13

1 PREMESSE

Nel presente studio viene valutato il livello di agitazione ondosa interna al porto di Gioia Tauro in correlazione alla proposta di Adeguamento Tecnico Funzionale, relativa alla nuova configurazione planimetrica dei banchinamenti nella zona di ambito portuale evidenziata in (Figura 1) attraverso l'impiego di un modello matematico di simulazione applicato per le condizioni meteomarine frequenti e per quelle più estreme. L'obiettivo dello studio è quello di analizzare gli effetti provocati dall'intervento di progetto che va ad interessare l'intera estensione dei tratti G-H-I delle banchine di Ponente e confrontare l'entità della penetrazione e dell'agitazione ondosa osservabile per le due configurazioni elencate in Tabella 1 : stato attuale e di progetto.

Lo studio della penetrazione delle onde all'interno dello specchio acqueo portuale è stato affrontato utilizzando il modello matematico CG Wave in grado di simulare i fenomeni di rifrazione, diffrazione e riflessione del moto ondoso , nonché gli effetti dissipativi quali l'attrito sui fondali e il frangimento e quindi i principali fenomeni idrodinamici concomitanti che regolano la propagazione del moto ondoso all'interno della struttura portuale, per le condizioni ondose considerate più rappresentative.

Come specificato in Tabella 1, l'analisi dell'agitazione ondosa è stata condotta considerando le configurazioni delle opere interne e della batimetria del porto riportata in forma grafica nelle figure che seguono.

La presente relazione è articolata come segue: il capitolo 2 descrive in breve le caratteristiche del modello matematico adottato; il capitolo 3 illustra le caratteristiche del moto ondoso utilizzate nello studio; il capitolo 4 descrive i diversi domini di calcolo che è stato necessario definire allo scopo di condurre le diverse simulazioni numeriche. I risultati delle simulazioni sono esposti nel capitolo 5.

<i>Configurazione</i>	<i>Opere Interne</i>	<i>Batimetria</i>
SA	Opere attuali	Attuale (Tavola BAT_SA)
PROG	Opere portuali previste nella proposta di Adeguamento Tecnico Funzionale	Progetto Definitivo (Tavola PROG_SA)

Tabella 1 – Configurazioni studiate

2 CENNI SUL MODELLO MATEMATICO ADOTTATO

Il modello matematico bidimensionale agli elementi finiti CGWAVE è stato sviluppato dall'Università del Maine su commissione del "U.S. Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station" ed è basato sull'equazione ellittica dell'onda che si propaga su fondali a lieve pendenza, (conosciuta anche come "combined refraction-diffraction equation") prima proposta da Eckart (1952) ed in seguito trattata da Berkhoff (1972, 1976) e altri, che è utilizzata per stimare le condizioni del moto ondoso a ridosso delle coste. CGWAVE è in grado di simulare contemporaneamente gli effetti della rifrazione, della diffrazione, della riflessione causata dalla variazione di profondità e dalle strutture, della dissipazione dell'energia dell'onda dovuta all'attrito con i fondali e al frangimento e l'effetto della dispersione non lineare dell'ampiezza dell'onda. CGWAVE analizza la trasformazione dell'onda a basse profondità nelle vicinanze della costa, quindi appartiene a quella classe di modelli matematici che operano in "local scale", ed utilizza come interfaccia grafico e risolutore il modello SMS (Surface-water Modelling System) prima e dopo i processi operativi. Il metodo classico "super-element", così come il nuovo metodo di approssimazione parabolica sviluppato recentemente (Xu, Panchang and demirbilek 1996), vengono utilizzati per studiare la condizione al contorno "open boundary". Per risolvere le equazioni discretizzate viene utilizzata una procedura iterativa (metodo del gradiente coniugato) introdotta da Panchang e altri (1991) e modificata da Li (1994). La trattazione teorica completa del modello può essere reperita su una delle pubblicazioni menzionate in bibliografia. (Demirbilek, Panchang 1998: "CGWAVE: A Coastal Surface water wave Model of the Mild Slope Equation").

3 CLIMA METEOMARINO DI PROGETTO

Le simulazioni sono state effettuate imponendo come condizioni di input per il modello di calcolo le forzanti di moto ondoso riportate nella tabella seguente:

<i>Configurazione</i>	<i>Altezza d'onda (m)</i>	<i>Periodo (sec.)</i>	<i>Direzione (°N)</i>
SA	1.0	6.0/8.0	200°
PROG	1.0	6.0/8.0	200°

Tabella 2 – Condizioni di moto ondoso utilizzate nelle simulazioni

che rappresentano sia le condizioni di operatività ordinaria ($T = 6.0$ s) e condizioni più rare e gravose associate a tempeste con tempo di ritorno decennale e cinquantennale ($T = 8$ s). Essendo il

modello lineare, le simulazioni sono state condotte in forma parametrica imponendo un valore unitario dell'altezza d'onda incidente.

Per quanto riguarda la direzione di provenienza delle onde in corrispondenza dell'imboccatura del canale portuale per le due configurazioni portuali simulate, si è preventivamente individuata la direzione dello stato di mare più gravosa ai fini dell'agitazione ondosa all'interno dello specchio acqueo del Porto di Gioia Tauro.

4 CONFIGURAZIONE DEL DOMINIO DI CALCOLO

4.1 Batimetria

Il rilievo batimetrico di dettaglio è stato fornito dall' Autorità di Sistema Portuale dei Mari Tirreno Meridionale e Ionio. Sulla base di questi dati è stato possibile predisporre i 'database' per la definizione della topografia dei fondali di tutti i domini utilizzati per le simulazioni. Nell'Allegato 1 le tavole BAT_SA e PROG_SA mostrano l'effettiva batimetria utilizzata per la simulazione della propagazione del moto ondoso nelle diverse configurazioni considerate.

4.2 Dominio di calcolo

La totalità delle prove numeriche orientate a studiare l'agitazione ondosa all'interno del Porto di Gioia Tauro nelle diverse configurazioni considerate hanno previsto la simulazione di onde monocromatiche nella direzione di propagazione considerata più significativa.

Nelle figure seguenti (Figura 1 e Figura 2) sono rappresentati i domini di calcolo utilizzati nelle diverse simulazioni.

Per ogni dominio considerato è stata costruita una mesh di calcolo formata da elementi triangolari e nodi variabili per ogni configurazione rappresentativi della morfologia dei fondali , come evidenziato in Tabella 3.

<i>Configurazione</i>	<i>Opere Esterne</i>	<i>N° Elementi</i>	<i>N° Nodi</i>
SA	Opere attuali	26.494	13.733
PRG	Opere portuali previste nella proposta di Adeguamento Tecnico Funzionale al P.R.P. vigente	27.137	14.046

Tabella 3 – Dettaglio numero elementi e nodi costituenti i domini di calcolo

Il limite esterno del dominio a largo , denominato “Open Ocean” , è stato posizionato ad una distanza dall'imboccatura del canale di accesso al porto di almeno 2/3 volte la lunghezza d'onda dell'ondazione utilizzata nella simulazione.

4.3 Generazione del moto ondoso e condizioni al contorno

Il moto ondoso è stato generato dal contorno esterno semicircolare posizionato nell'avamposto. Sono state utilizzate condizioni al contorno di parziale assorbimento ($R=0.4$) nei tratti del porto delimitati da scogliera mentre per i contorni del porto a parete verticale è stato utilizzato un coefficiente di assorbimento pari ad $R = 0.8$. Inoltre le simulazioni sono state condotte in assenza di dissipazione dell'onda dovuta al frangimento.

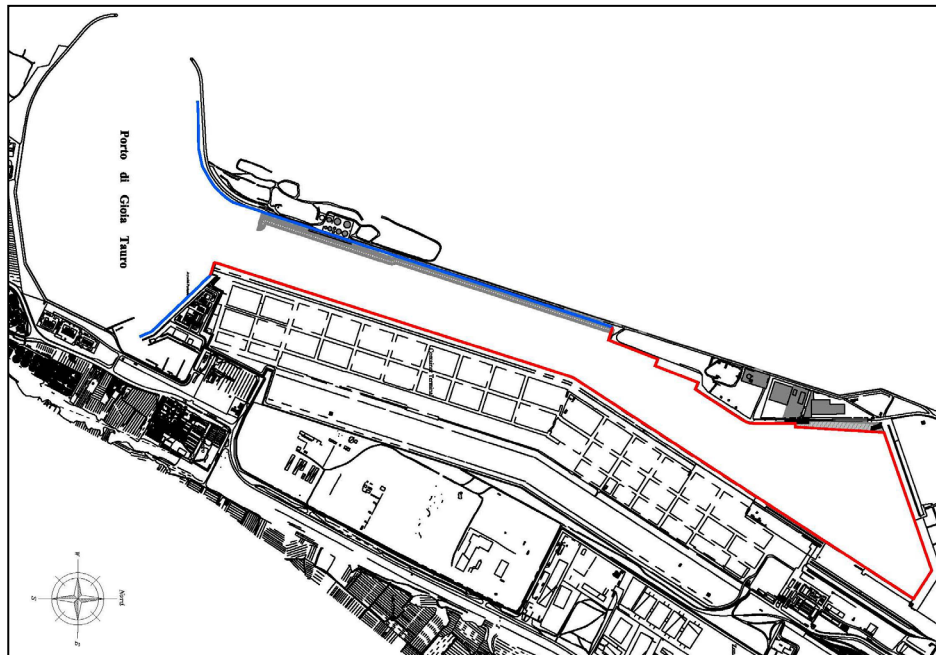


Figura 1- Dominio di calcolo utilizzato nella simulazione della configurazione SA (vedi Tabella 1)

— R = 0.40
— R = 0.80

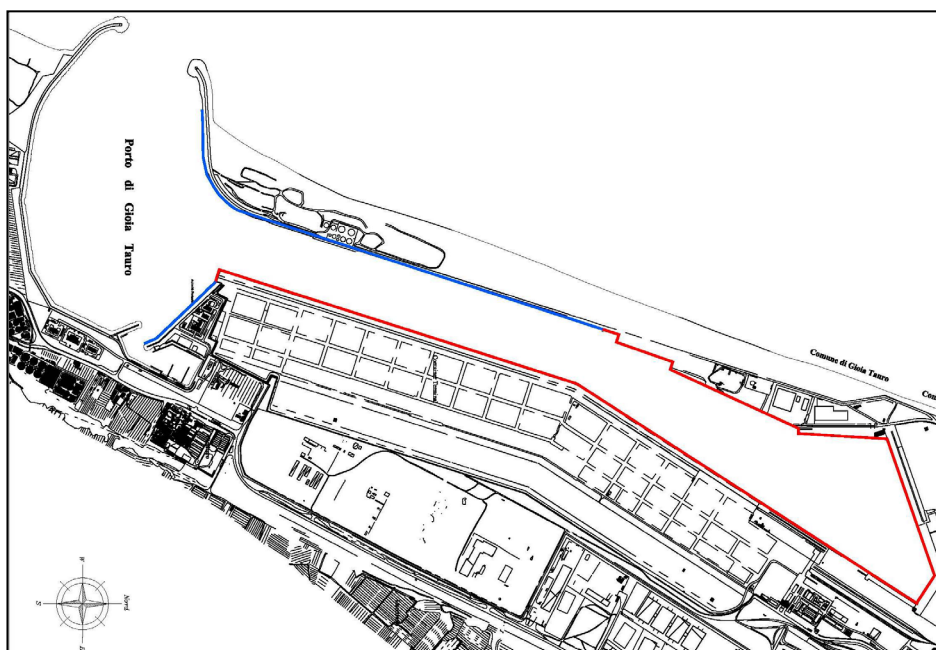


Figura 2- Dominio di calcolo utilizzato nella simulazione della configurazione PROG_SA (vedi Tabella 1)

 <p data-bbox="367 123 598 190">Autorità di Sistema Portuale dei Mari Tirreno Meridionale e Ionio</p>	<p data-bbox="662 100 1141 156">PORTO DI GIOIA TAURO Resecuzione Banchine di Ponente Tratti G-H-I</p> <p data-bbox="774 168 1029 201">PROGETTO DEFINITIVO</p>	<p data-bbox="1197 100 1428 168">Titolo elaborato: Studio dell'agitazione ondosa residua</p> <p data-bbox="1197 168 1428 201">Data: Gennaio 2022</p>
--	--	--

5 RISULTATO DELLE SIMULAZIONI

5.1 Criterio di presentazione dei risultati

I risultati delle simulazioni effettuate sono rappresentati a colori e con curve di eguale agitazione ondosa nelle figure allegate (Allegato 2). Essendo il modello lineare, i risultati sono stati rappresentati utilizzando il coefficiente di diffrazione che esprime il rapporto tra l'altezza d'onda calcolata nel punto e l'altezza d'onda incidente. Per ottenere il valore dell'altezza d'onda in un punto è sufficiente moltiplicare il coefficiente di diffrazione per l'altezza dell'onda incidente.

6 CONCLUSIONI

I risultati delle simulazioni condotte per valutare gli effetti , in termini di agitazione ondosa residua, determinati dalla resecazione della banchina di Ponente nei tratti G, H e I e dalla realizzazione dei nuovi banchinamenti mostrano come non vi siano incrementi sensibili dei livelli di agitazione ondosa , suscettibili di condizionare la navigabilità del canale del Porto di Gioia Tauro e la fruibilità degli ormeggi .

In particolare l'analisi ed il confronto tra i risultati della simulazione "SA" (configurazione di stato attuale) e quella "PROG" (opere di progetto) indica come la tipologia , l'estensione e la disposizione delle nuove opere in progetto previste nell'"Adeguamento Tecnico Funzionale" non determinino in generale incrementi sensibili dell'agitazione ondosa nell'interno bacino portuale.

Tale risultato deriva principalmente dal contenimento degli effetti del campo di moto riflesso nella configurazione sia di stato attuale sia di progetto indotto dalle opere a scogliera esterne ed interne lato ovest del canale del Porto di Gioia Tauro dotate di minor coefficiente di riflessione rispetto ai paramenti a parete verticale.

APPENDICE : DESCRIZIONE DEL MODELLO MATEMATICO CGWAVE

Introduzione

Il sistema CGWAVE è stato sviluppato dalla University of Maine per conto della United States Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station per stimare il campo d'onda all'interno dei porti, in prossimità della costa, nelle insenature costiere ed in prossimità delle strutture fisse e mobili.

Infatti tale modello è in grado di simulare la propagazione del moto ondoso tenendo conto degli effetti combinati della rifrazione, diffrazione e riflessione, e dei fenomeni dissipativi dovuti al frangimento del moto ondoso ed all'attrito sul fondo, di fondamentale importanza per la determinazione dell'agitazione ondosa residua all'interno dei bacini portuali.

Il modello SMS è provvisto di pre-post processore grafico per programmi che richiedono griglie 2D agli elementi finiti sviluppato dall'Engineering Computer Graphics Laboratory a Brigham.

Equazioni di base

La soluzione della forma ellittica bidimensionale dell'equazione delle onde che si propagano su fondali lentamente variabili (mild-slope wave equation) è un criterio generalmente adottato per lo studio delle onde di gravità nelle aree costiere.

Questa equazione, che simula la diffrazione, la rifrazione e la riflessione delle onde in una regione costiera caratterizzata da fondali aventi pendenza variabile, può essere scritta nel modo seguente:

$$\nabla(CC_g \nabla \hat{\eta}) + \frac{C_g}{C} \sigma^2 \hat{\eta} = 0 \quad (1)$$

dove:

$\hat{\eta}(x,y)$: funzione complessa dell'elevazione della superficie libera dalla quale può essere stimato il valore dell'altezza d'onda;

σ = frequenza angolare;

$C(x,y)$: celerità di fase (σ/k);

$C_g(x,y)$: celerità di gruppo ($\partial\sigma/\partial k = nC$) con $n = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2kd}{\sinh 2kd} \right)$;

$k(x,y)$: numero d'onda ($=2\pi/L$) correlato alla profondità locale $d(x,y)$ attraverso la relazione di dispersione lineare $\sigma^2 = gk \tanh(kd)$.

Per tenere conto degli effetti dissipativi dovuti all'attrito sul fondo ad al frangimento del moto ondoso l'equazione 1 può essere modificata nel modo seguente:

$$\nabla(CC_g \nabla \hat{\eta}) + \left(\frac{C_g}{C} \sigma^2 + i\sigma w + iC_g \sigma \gamma \right) \hat{\eta} = 0 \quad (2)$$

dove w è un fattore d'attrito e γ il parametro di frangimento dell'onda.

Seguendo la formulazione di Dalrymple et al. (1984), CGWAVE utilizza la seguente espressione per il fattore di dissipazione w :

$$w = \left(\frac{2n\sigma}{k} \right) \left[\frac{2f_r}{3\pi} \frac{ak^2}{(2kd + \sinh 2kd) \sinh kd} \right]$$

dove $a = H/2$, ampiezza d'onda, e f_r , coefficiente d'attrito, sono parametri scelti come condizioni di input per il modello e definiti dall'utente.

Per il parametro che tiene conto del frangimento viene utilizzata la seguente espressione:

$$\gamma = \frac{\chi}{d} \left(1 - \frac{\Gamma^2 d^2}{4a^2} \right)$$

Dove χ è una costante assunta nel modello pari a 0.15 e Γ è una costante empirica assunta nel modello pari a 0.4.

Condizioni al contorno

L'equazione 2 utilizzata dal modello CGWAVE per la stima del campo d'onda richiede l'imposizione di opportune condizioni al contorno da introdurre lungo tutto il perimetro del dominio di calcolo. In generale lungo il contorno che rappresenta la costa o le strutture viene applicata la seguente condizione di riflessione:

$$\frac{\partial \hat{\eta}}{\partial n} = \alpha \hat{\eta} \quad (3)$$

dove $\alpha = \alpha_1 + i\alpha_2$ è un coefficiente di riflessione complesso e vale $\alpha = 0$ per strutture completamente riflettenti.

Per semplicità α è generalmente rappresentato come:

$$\alpha = ik \frac{1 - K_r}{1 + K_r}$$

dove K_r è il coefficiente di riflessione.

Lungo il contorno che rappresenta le condizioni di mare aperto, dove le onde direzionate verso il largo devono propagarsi verso l'infinito viene applicata la condizioni di radiazione Sommerfeld:

$$\lim_{kr \rightarrow \infty} \sqrt{kr} \left(\frac{\partial}{\partial r} - ik \right) \hat{\eta}_s \rightarrow 0 \quad (4)$$

dove $\hat{\eta}_s$ è il potenziale dell'onda dispersa, la quale è una soluzione dell'equazione 1 (mild-slope equativo) e soddisfa la condizione di radiazione appena sopra riportata (equazione 4), che può essere scritto come:

$$\hat{\eta}_s = \sum_{n=0}^{\infty} H_n(kr) (\alpha_n \cos n\vartheta + \beta_n \sin n\vartheta) \quad (5)$$

dove $H_n(kr)$ sono le funzioni di Hankel del primo genere.

Il potenziale $\hat{\eta}_s$ dato nella (4) richiede una profondità costante all'esterno del dominio di calcolo. Inoltre nei problemi portuali lo stesso potenziale richiede nella regione esterna al porto stesso una linea di costa rettilinea, allineata e completamente riflettente. Per superare questo problema all'interno del modello, lungo il contorno che rappresenta le condizioni di mare aperto, viene utilizzata la seguente approssimazione parabolica (Xu, Panchang e Demirbilek, 1996):

$$\frac{\partial \hat{\eta}_s}{\partial r} + p \hat{\eta}_s + q \frac{\partial \hat{\eta}_s^2}{\partial \vartheta^2} = 0 \quad (6)$$

dove

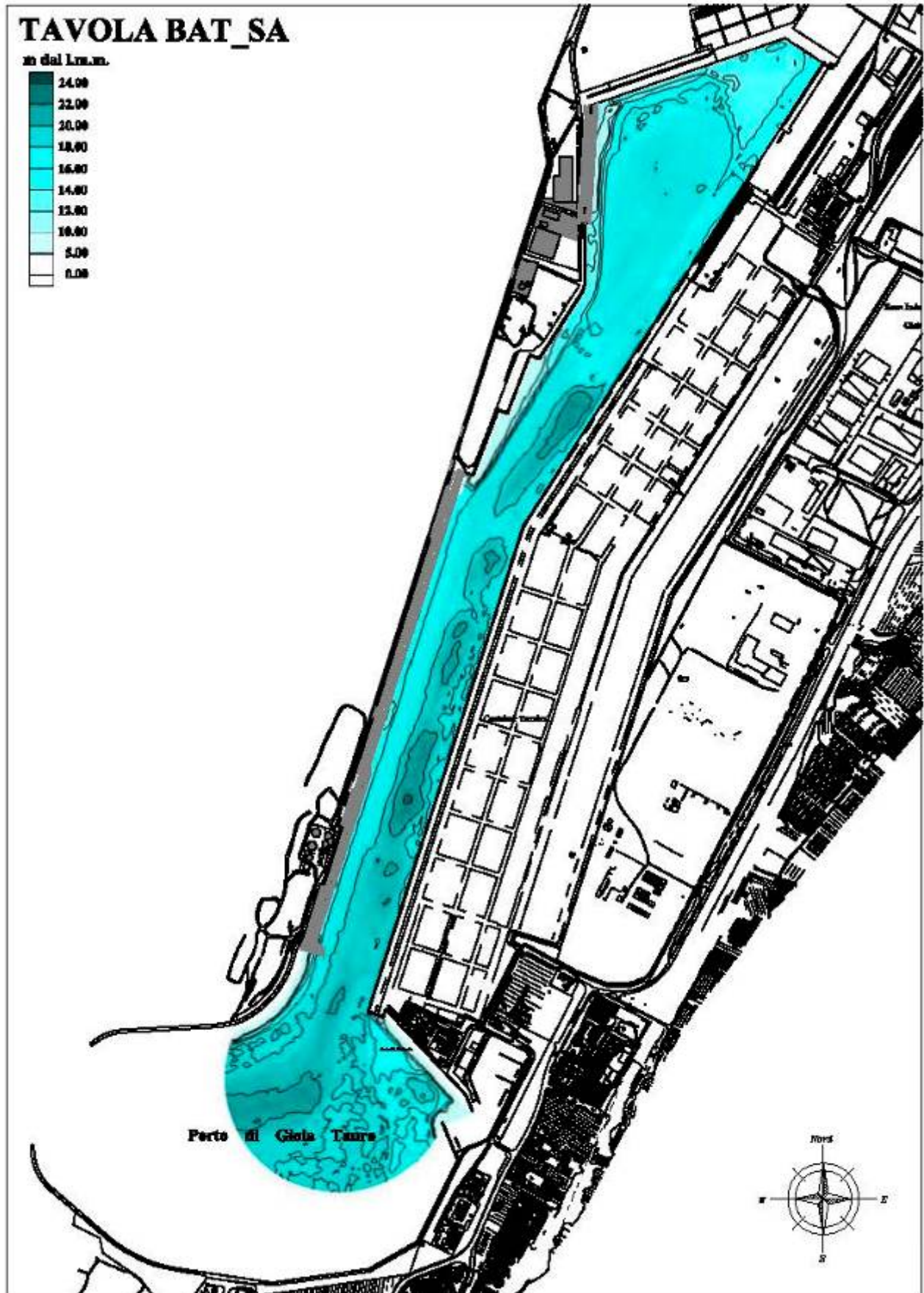
$$p = \frac{k^2 r^2 + k_0^2 r^2 + ik_0 r + \frac{1}{4}}{2ik_0 r^2} \quad \text{e} \quad q = \frac{1}{2ik_0 r^2}.$$

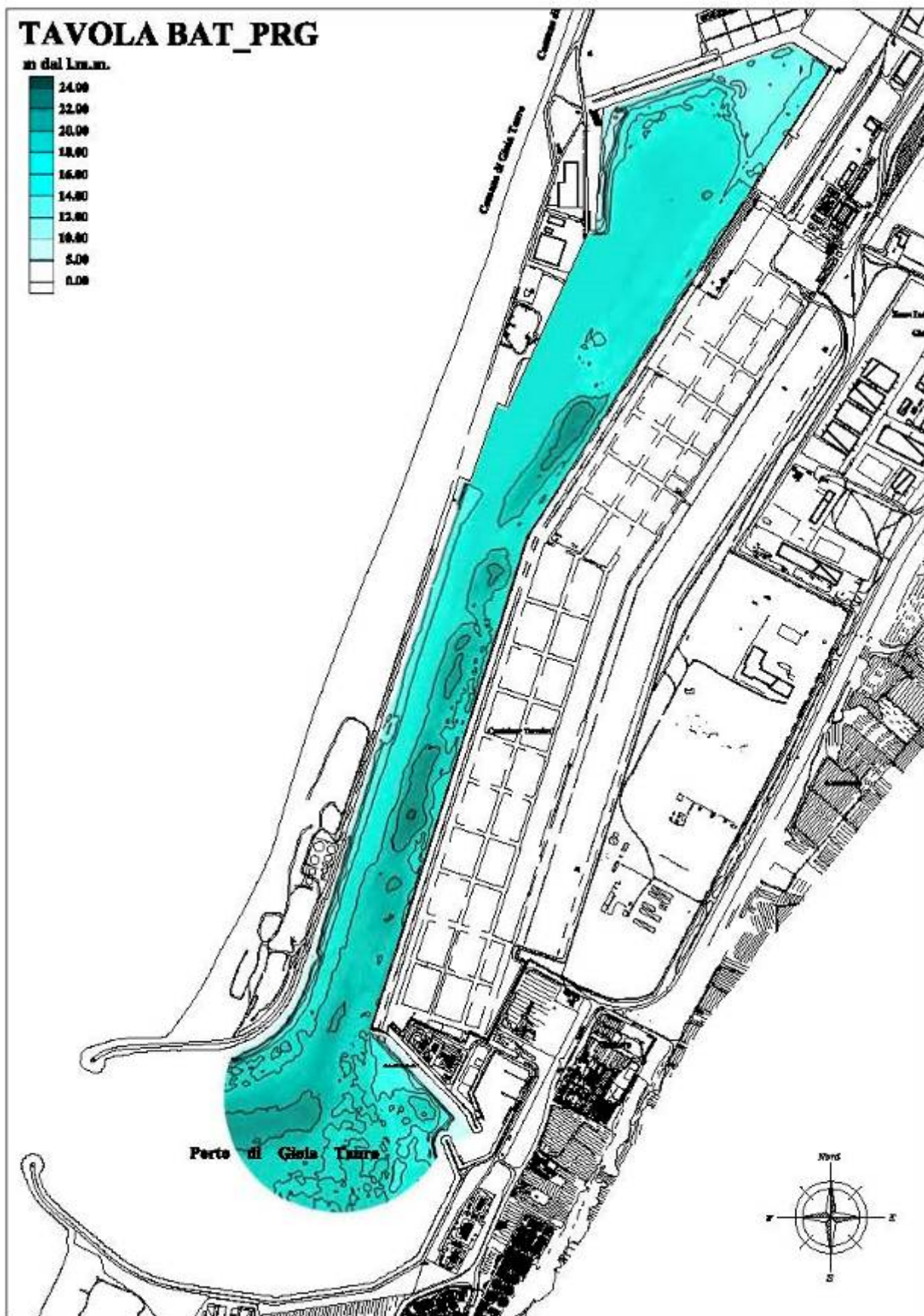
Nell'equazione sopra riportata k_0 può essere assunto pari al numero d'onda corrispondente alla profondità media che si ha lungo il contorno aperto del dominio di calcolo schematizzato.

L'equazione 6 viene utilizzata dal modello CGWAVE solo lungo la linea di contorno semi-circolare che delimita, lato mare, il dominio di calcolo; all'interno del dominio stesso viene applicata l'equazione di "mild-slope"

 <p>Autorità di Sistema Portuale dei Mari Tirreno Meridionale e Ionio</p>	<p>PORTO DI GIOIA TAURO Resezione Banchine di Ponente Tratti G-H-I</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p>	<p>Titolo elaborato: Studio dell'agitazione ondosa residua</p>
		<p>Data: Gennaio 2022</p>

ALLEGATO 1





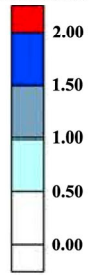
 <p>Autorità di Sistema Portuale dei Mari Tirreno Meridionale e Ionio</p>	<p>PORTO DI GIOIA TAURO Resezione Banchine di Ponente Tratti G-H-I</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p>	<p>Titolo elaborato: Studio dell'agitazione ondosa residua</p>
		<p>Data: Gennaio 2022</p>

ALLEGATO 2



TAVOLA SA_6sec

Altezza d'onda relativa



Direzione di propagazione 200°

T = 6 sec

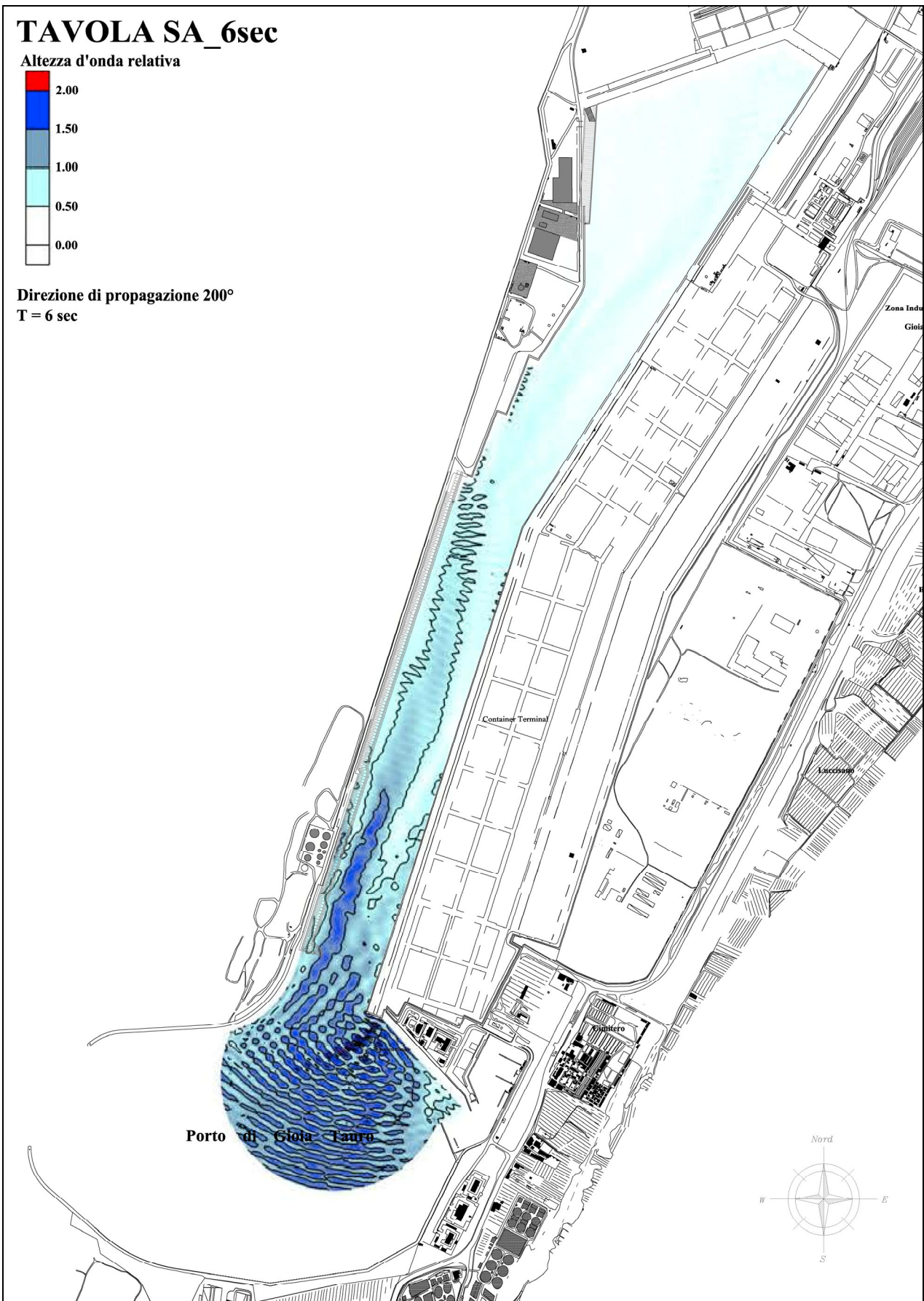
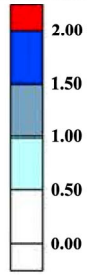




TAVOLA SA_8sec

Altezza d'onda relativa



Direzione di propagazione 200°
T = 8 sec

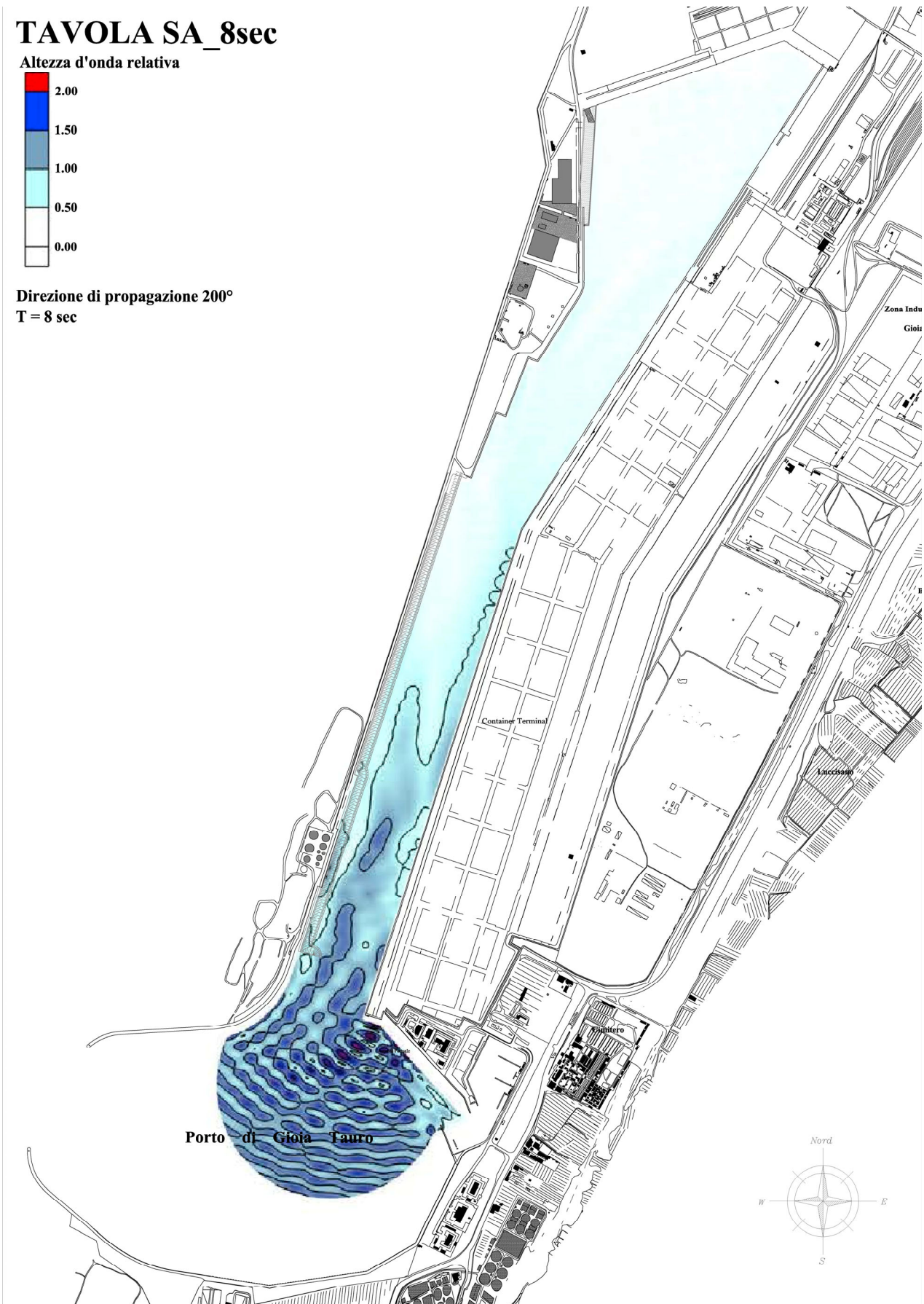
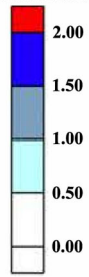




TAVOLA PRG_6sec

Altezza d'onda relativa



Direzione di propagazione 200°

T = 6 sec

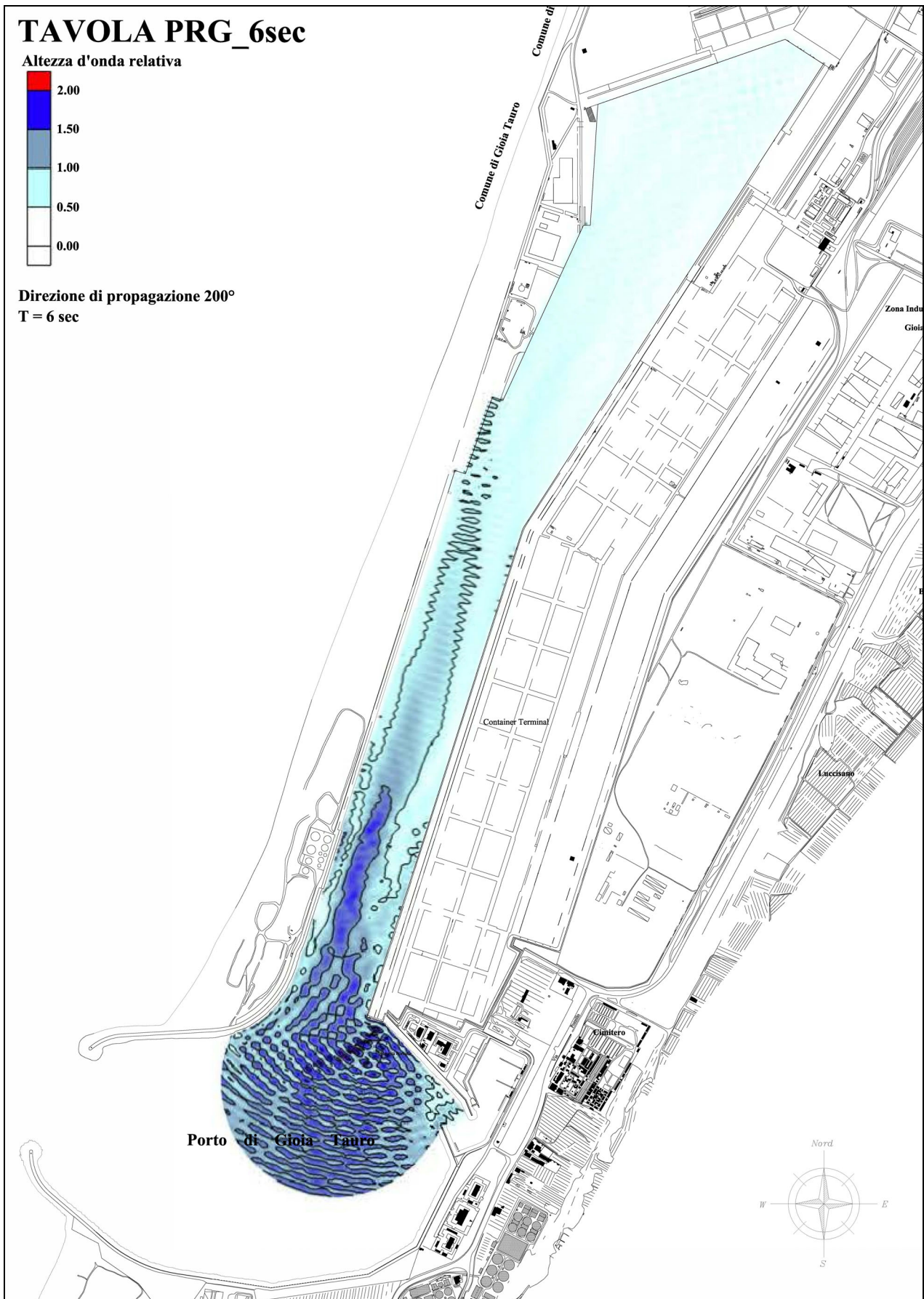
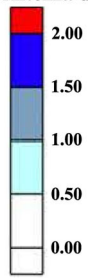




TAVOLA PRG_8sec

Altezza d'onda relativa



Direzione di propagazione 200°

T = 8 sec

