

Comune di Centola

Provincia di Salerno

LAVORI DI PROLUNGAMENTO DELLA TESTATA DEL MOLO
E DI AMPLIAMENTO E CONSOLIDAMENTO DELLA PARTE INTERA DEL MOLO
PER RENDERE RIPARATO E SICURO L'ANCORAGGIO
ALL'INTERNO DELLA RADA DI PALINURO

SERVIZIO DI CONSULENZA SPECIALISTICA
PER LA REDAZIONE DELLA RELAZIONE METEOMARINA
E DELLA RELAZIONE DI INGEGNERIA MARITTIMA

CUP: B94B16000040002 – CIG: Z2D1F59A65



Relazione Specialistica di Ingegneria Marittima

Il Consulente

Prof. Mario Calabrese
Mario Calabrese

LUGLIO 2018

INDICE

1. PREMESSA	3
2. STUDIO DELL'AGITAZIONE RESIDUA ALL'INTERNO DEL BACINO PORTUALE.....	4
2.1. Condizioni ondose utilizzate per la valutazione della agitazione interna	4
2.2. Il modello utilizzato.....	4
2.3. Coefficienti di riflessione	7
3. RISULTATI DEL MODELLO DI SIMULAZIONE.....	8
3.1. Valori di agitazione ammissibili per approdi turistici	8
3.2. Risultati della simulazione.....	10
3.3. Analisi dei risultati	15

1. PREMESSA

L'Amministrazione Comunale del Comune di Centola, con determina n.205 del 14/09/2017/ a firma del Responsabile del servizio Area tecnica lavori pubblici, ha affidato allo scrivente "un servizio di consulenza specialistica per la redazione della relazione meteomarina e della relazione di ingegneria marittima necessaria per l'aggiornamento del progetto definitivo redatto all'Ufficio OO.MM. di Napoli" riguardante *i lavori di prolungamento della testata del molo e di ampliamento e consolidamento della parte interna del molo per rendere riparato e sicuro l'ancoraggio all'interno della rada di Palinuro del comune di Centola (SA).*

Nella presente relazione sono riassunte le analisi effettuate finalizzate alla valutazione dell'agitazione ondosa residua all'interno del bacino protetto di Palinuro e alla determinazione delle condizioni operative limite degli ormeggi.

Gli stati di mare convenzionali utilizzati nelle verifiche sono stati desunti da risultati dello studio idraulico-marittimo.

La Fig. 1 riporta il layout portuale analizzato.

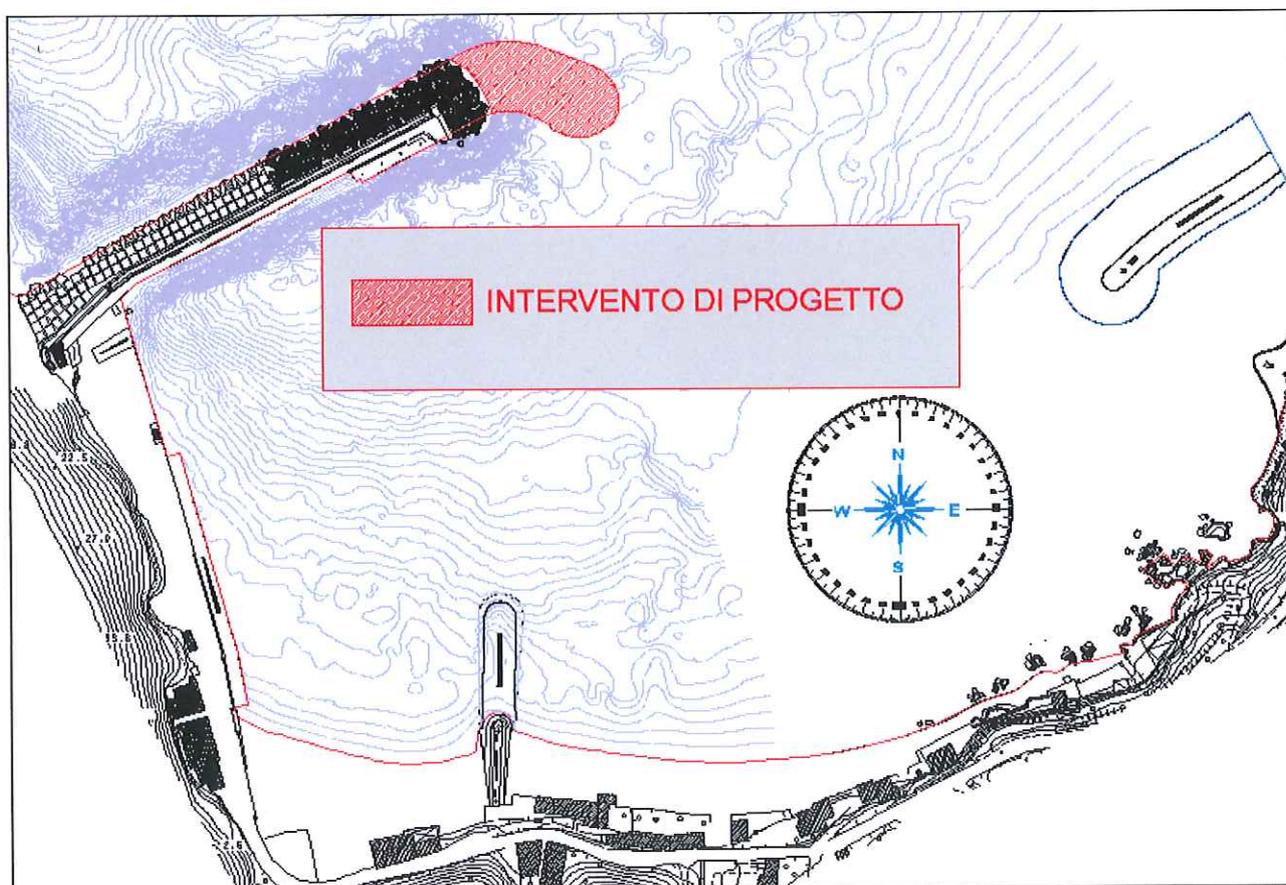


Figura 1 – Layout portuale

2. STUDIO DELL'AGITAZIONE RESIDUA ALL'INTERNO DEL BACINO PORTUALE

2.1. Condizioni ondose utilizzate per la valutazione della agitazione interna

Le ondazioni utilizzate nelle simulazioni sono quelle estreme sulla profondità di -18 m s.l.m.m prossima all'imboccatura portuale, riportate nello studio idraulico-marittimo.

Nella seguente Tabella 1 sono riportati i valori delle caratteristiche ondose calcolate con periodo di ritorno di 5, 10, 30 e 50 anni.

Periodo di Ritorno Tr [anni]	Hs [m]	Tp [s]	Dir. [°N]
5	6.08	11.22	268
10	6.48	11.58	267
30	6.99	12.03	267
50	7.34	12.32	267

Tabella 1 – Ondazioni estreme sottocosta

Nella Tabella 2, invece, sono viceversa riportate le caratteristiche dello stato di mare convenzionale di progetto sulla profondità di -18 m s.l.m.m. con probabilità di superamento di 5 giorni/anno.

F(H)	H [m]	Giorni di Superamento in 1 anno
0.981	2.61	5.00

Tabella 2 – Onda con probabilità di superamento di 5 giorni l'anno

2.2. Il modello utilizzato

La valutazione della agitazione ondosa residua nell'area portuale è stata effettuata mediante l'impiego di un modello numerico capace di riprodurre gli effetti combinati di tutti i più importanti fenomeni che concorrono a determinare l'agitazione portuale e cioè shoaling, rifrazione, diffrazione, frangimento, dissipazione al fondo e riflessioni parziali sulle strutture esistenti

Il modello è basato sulla soluzione numerica dell'equazione di tipo ellittico proposta da Berkhoff (1972) nell'ipotesi di debole pendenza del fondo e onda monocromatica. L'equazione proposta da Berkhoff, trascurando tutte le perdite di energia, può essere scritta come:

$$\nabla(cc_g \nabla \xi) - \frac{c_g}{c} \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = 0$$

dove $\xi(x, y, t)$ è l'elevazione dell'onda, c è la celerità dell'onda singola, c_g è la celerità di gruppo e ∇ è l'operatore gradiente nel piano orizzontale.

La celerità dell'onda e la celerità di gruppo sono funzioni della profondità $d(x, y)$ attraverso le relazioni:

$$c^2 = \frac{g}{k} \tanh(kd)$$

$$c_g = \frac{1}{2} c \left[1 + \frac{2kd}{\sinh(2kd)} \right]$$

in cui k è il numero d'onda.

Nel modello l'equazione di Berkhoff viene trasformata in un sistema differenziale iperbolico del primo ordine, che è molto simile come struttura al sistema di equazioni che governano le shallow water. La soluzione stazionaria dell'equazione di Berkhoff viene raggiunta, per t tendente all'infinito, da un moto non stazionario in cui l'onda entrante, armonica, è assegnata come condizione al contorno. Come mostrato da Copeland (1985), l'equazione di Berkhoff può essere riscritta come sistema differenziale del primo ordine introducendo gli pseudo-flussi, in direzione x e y , P^* e Q^* :

$$\frac{\partial P^*}{\partial t} + cc_g \frac{\partial \xi}{\partial x} = 0$$

$$\frac{\partial Q^*}{\partial t} + cc_g \frac{\partial \xi}{\partial y} = 0$$

$$\frac{c_g}{c} \frac{\partial \xi}{\partial t} + \frac{\partial P^*}{\partial x} + \frac{\partial Q^*}{\partial y} = 0$$

dove $P^*(x, y, z)$ è lo pseudo-flusso nella direzione x e $Q^*(x, y, z)$ è lo pseudo-flusso nella direzione y , $[m^3/s/m]$.

Questo sistema è simile alle equazioni della quantità di moto e di continuità che governano il moto delle onde lunghe in acque basse comunemente chiamate shallow water. L'integrazione nel tempo delle equazioni conduce alla condizione stazionaria, soluzione dell'equazione ellittica di partenza. La variazione armonica nel tempo può essere evidenziata ponendo:

$$\xi = S(x, y, t)e^{i\omega t}$$

$$Q^* = Q(x, y, t)e^{i\omega t}$$

$$P^* = P(x, y, t)e^{i\omega t}$$

dove $\omega = 2\pi/T$, i è l'unità immaginaria e S , P e Q sono funzioni complesse di x, y e t .

Si può ritenere che la dipendenza dal tempo delle funzioni S, P e Q sia debole a causa della procedura di soluzione (iterazioni verso la soluzione stazionaria, che è indipendente dal tempo).

Generalizzando l'equazione di continuità per includere la generazione interna dell'onda (termine sorgente), si ottengono le seguenti equazioni:

$$\begin{aligned}\frac{c_g}{c} \frac{\partial P}{\partial t} + \frac{c_g}{c} i\omega P + c_g^2 \frac{\partial S}{\partial x} &= 0 \\ \frac{c_g}{c} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{c_g}{c} i\omega Q + c_g^2 \frac{\partial S}{\partial y} &= 0 \\ \frac{c_g}{c} \frac{\partial S}{\partial t} + \frac{c_g}{c} i\omega S + \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial y} &= SS\end{aligned}$$

dove SS è il termine sorgente che genera l'onda progressiva.

L'onda armonica è generata internamente alla frontiera del dominio usando il termine sorgente SS nell'equazione di bilancio di massa. Le condizioni al contorno consistono nello specificare la posizione dell'onda entrante nell'area di interesse e le sue caratteristiche. La posizione dell'onda entrante è assegnata specificando i due punti d'estremità della linea del fronte. Lo pseudo-flusso entrante vale:

$$q_{\text{wave}} = c_g \xi(t)$$

Si osserva che nel periodo T il flusso netto è nullo, coerentemente con la teoria lineare assunta, che non prevede trasporto di massa associato all'onda progressiva, e che a passare del tempo t la forma si propaga nel dominio.

La riflessione parziale è stata trattata da Mansen e Larsen (1987) generalizzando l'equazione di Berkhoff nell'ipotesi di onda che incontra un'opera verticale, trattabile come mezzo poroso. Le equazioni proposte includono un termine di attrito al fondo f_n lineare, che descrive le perdite di energia, laminari e turbolente, entro la struttura porosa e che risulta dipendere dalle seguenti grandezze: la porosità n, la larghezza dell'opera, il diametro dei massi, il periodo e l'ampiezza dell'onda. Si consiglia di porre davanti la struttura riflettente, una serie di punti con assegnato coefficiente di attrito f_n , ricavabile nota la geometria dell'opera (coefficiente di riflessione $c_r = \alpha_r/\alpha_i$) e il fondale davanti l'opera. Le equazioni finali si possono scrivere come:

$$\begin{aligned}\frac{1}{n} \frac{c_g}{c} \frac{\partial P}{\partial t} + \frac{c_g}{c} \frac{\omega}{n} (i + f_n) P + c_g^2 \frac{\partial S}{\partial x} &= 0 \\ \frac{1}{n} \frac{c_g}{c} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{c_g}{c} \frac{\omega}{n} (i + f_n) Q + c_g^2 \frac{\partial S}{\partial y} &= 0 \\ n \frac{c_g}{c} \frac{\partial S}{\partial t} + n \frac{c_g}{c} i\omega S + \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial y} &= SS\end{aligned}$$

dove n è la porosità.

Un quasi perfetto assorbimento dell'onda può essere ottenuto usando la procedura descritta da Larsen e Dancy (1983). Questa tecnica è basata sul concetto di smorzamento artificiale che viene introdotto nelle equazioni mediante un coefficiente d'attrito, f_s , assegnato ad una serie di punti posti davanti alla frontiera chiusa (impermeabile) senza capacità riflettente.

Le equazioni finali che si ottengono sono:

$$\frac{c_g}{c} \frac{\partial P}{\partial t} + \left(\frac{c_g}{c} i\omega + f_s \right) P + c_g^2 \frac{\partial S}{\partial x} = 0$$

$$\frac{c_g}{c} \frac{\partial Q}{\partial t} + \left(\frac{c_g}{c} i\omega + f_s \right) Q + c_g^2 \frac{\partial S}{\partial y} = 0$$

$$\frac{c_g}{c} \frac{\partial S}{\partial t} + \left(\frac{c_g}{c} i\omega + f_s \right) S + \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial y} = SS$$

e vengono risolte con uno schema alle differenze finite di tipo implicito su una griglia rettangolare regolare nelle variabili complesse S, P e Q.

L'algoritmo risolutivo segue uno schema di tipo Double-Sweep con possibilità di scelta automatica del Δt di calcolo in modo da garantire un numero di Courant prossimo all'unità e quindi minimizzare il numero di iterazioni necessarie a raggiungere la condizione stazionaria.

2.3. Coefficienti di riflessione

I coefficienti di riflessione delle opere perimetrali dello specchio d'acqua, adottati nel modello di simulazione della penetrazione ondosa nel porto, sono stati fissati in base all'esperienza ed alle indicazioni comunemente riportate nella letteratura tecnica.

In particolare sono stati prescelti i seguenti valori per i vari segmenti perimetrali di contorno del porto:

- Paramenti di opere a gettata $K_r = 0.4$
- Paramenti di banchine interne $K_r = 0.90$ (valore cautelativo)
- Paramenti di banchine interne su pali $K_r = 0.80$ (valore cautelativo)

In corrispondenza del tratto di costa basso e laddove sono presenti delle spiagge si è previsto un coefficiente di riflessione pari al 20% per considerare l'effetto assorbente delle stesse (Fig. 3).

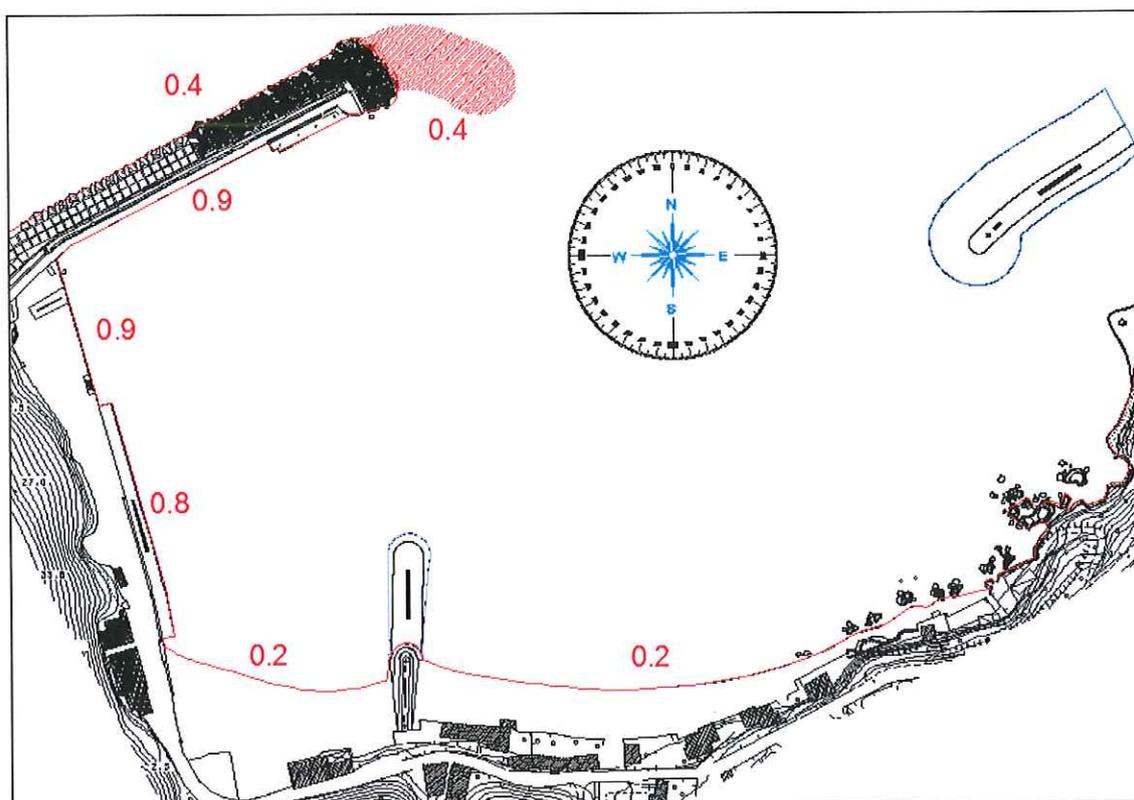


Figura 2 – Coefficienti di riflessione

3. RISULTATI DEL MODELLO DI SIMULAZIONE

Nel presente capitolo si riportano in forma tabellare e grafica i risultati ottenuti dalla simulazione numerica.

Si è provveduto al confronto tra i valori ottenuti riferiti all'attuale layout portuale e a quello di progetto.

Inoltre, l'agitazione prodotta dalle onde entranti dall'imboccatura è stata confrontata, in alcuni punti caratteristici, con quella ammissibile suggerita dalla letteratura di settore.

3.1. Valori di agitazione ammissibili per approdi turistici

La verifica della funzionalità idraulica delle aree più interne del bacino portuale, nei riguardi della penetrazione del moto ondoso, è stata condotta facendo riferimento preliminarmente alle indicazioni riportate nelle "Raccomandazioni tecniche per la progettazione dei porti turistici", edite nel 2002 dalla sezione italiana della Associazione internazionale di navigazione (AIPCN-PIANC).

A tal riguardo l'AIPCN raccomanda i seguenti valori dell'altezza d'onda significativa ammissibile all'interno del porto:

- *condizione di comfort*: $H_s = 0.15$ m per eventi con frequenza massima complessiva indicativamente non superiore a 5 giorni / anno;
- *condizione di sicurezza*: $H_s = 0.30$ m per eventi con periodo di ritorno non inferiore a 5 anni;
- *condizione limite*: $H_s = 0.50$ m per eventi con periodo di ritorno non inferiore a 50 anni.

Nello studio sono state inoltre considerate le indicazioni del *Canadian Manuscript Report of Fisheries and Aquatic Sciences No. 1629* del 1981 riepilogate nella seguente Tabella 3.

Direzione dell'ondazione rispetto al natante	Periodo di picco dell'ondazione, T, s	Hs, m		
		Periodo di ritorno dell'evento considerato		
		50 anni	1 anno	1 settimana
Frontale	T<2		0.31	0.30
	2<T<6	0.61	0.30	0.15
	6<T	0.61	0.30	0.15
Laterale	T<2		0.30	0.30
	2<T<6	0.23	0.15	0.08
	6<T	0.23	0.15	0.08

Tab.3 – Indicazioni del *Canadian Manuscript Report of Fisheries and Aquatic Sciences No. 1629*

Infine, si sono anche considerate le raccomandazioni del *PIANC PTC II Report WG24* riportate in Tabella 4.

Wave criteria from small craft				
Length of small craft, pleasure boat m	Maximum wave height criterion, beam/quartering seas		Maximum wave height criterion, head seas	
	T_z s	H_s m	T_z s	H_s m
4 to 10	<2	0.20	<2.5	0.20
	2 to 4	0.10	2.5 to 4	0.15
	>4	0.15	>4	0.20
10 to 16	<3	0.25	<3.5	0.30
	3 to 5	0.15	3.5 to 5.5	0.20
	>5	0.20	>5.5	0.30
20	<4	0.30	<4.5	0.30
	4 to 6	0.15	4.5 to 7	0.25
	>6	0.25	>7	0.30

Tab. 4 – Indicazioni del *PIANC PTC II Report WG24*

Wave climate criteria for small craft considering extreme events				
Length of small craft, pleasure boat m	Maximum wave height criterion, beam/quartering seas $T_z > 4$ s		Maximum wave height criterion, head seas $T_z > 4$ s	
	$T_r = 50$ years m	$T_r = 1$ year m	$T_r = 50$ years m	$T_r = 1$ year m
10 to 20	0.30	0.15 to 0.25	0.60	0.20 to 0.30

Tab. 5 – Indicazioni del *PIANC PTC II Report WG24*

Le raccomandazioni del *Canadian Manuscript Report of Fisheries and Aquatic Sciences* e del *PIANC PTC II Report WG24* tengono conto della lunghezza del natante e della direzione dell'ondazione rispetto al natante.

3.2. Risultati della simulazione

Per ciascuna zona di ormeggio, in cui è stata suddivisa l'area portuale, con riferimento sia al layout portuale attuale sia a quello di progetto, nelle Figure da 3 a 12 sono riportati i valori di altezza d'onda ricavati dalle simulazioni numeriche effettuate.

Come si evince dalle figure, lo studio sembra indicare come l'estensione e la deviazione planimetrica proposta per l'opera a gettata del layout di progetto offra una buona protezione dal moto ondoso incidente in tutte le zone dove sono previsti degli ormeggi.

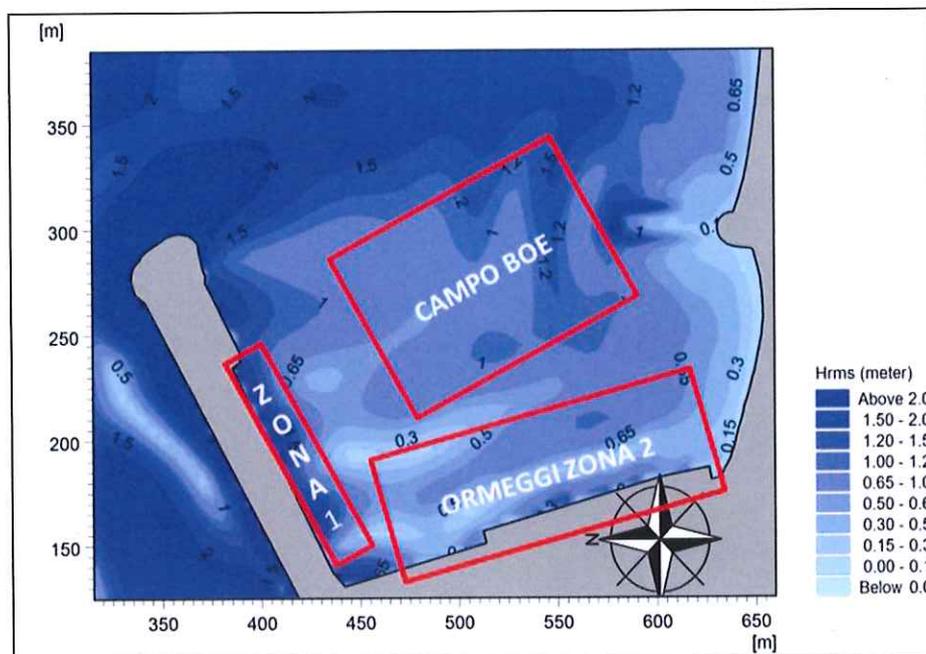


Figura 3– Onda con frequenza massima non superiore a 5 giorni/anno situazione attuale

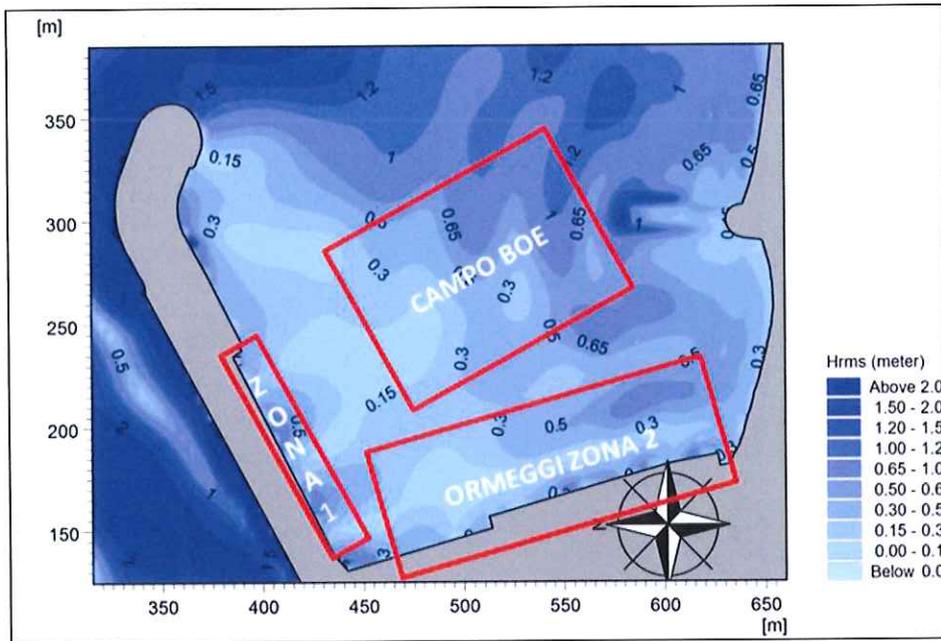


Figura 4 – Onda con frequenza massima non superiore a 5 giorni/anno situazione di progetto

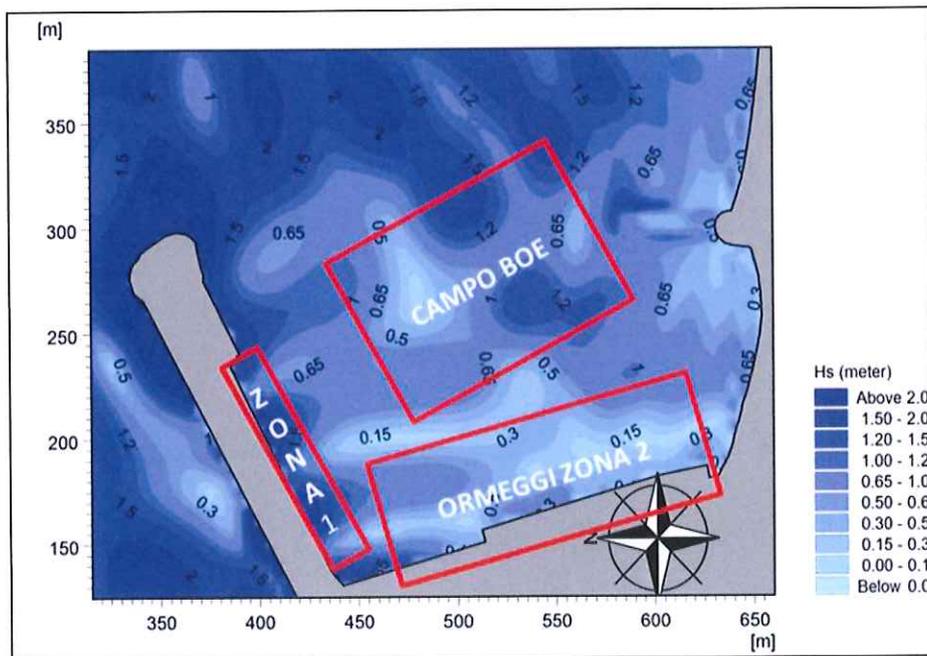


Figura 5 – Onda con T_r 5 anni situazione attuale

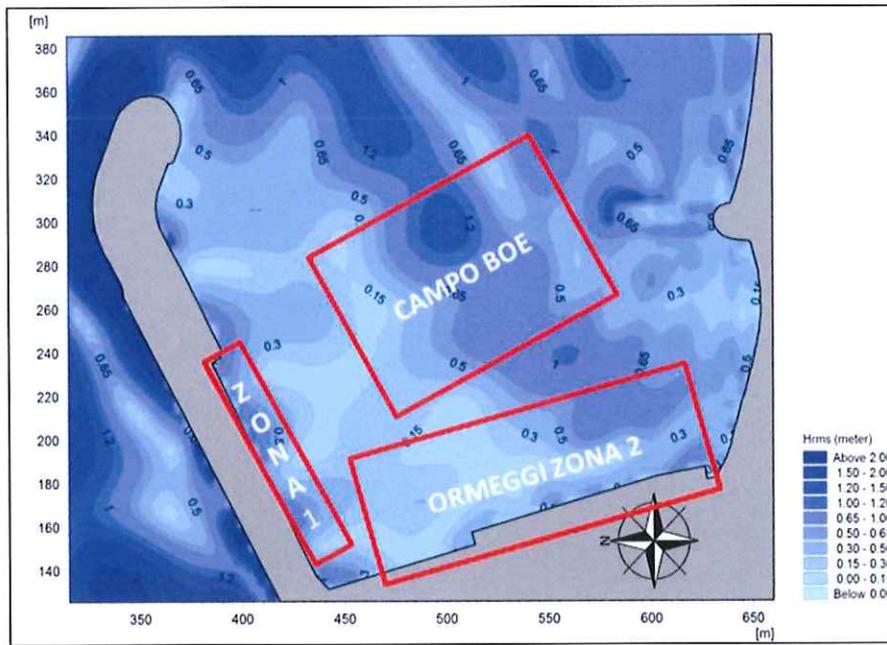


Figura 6 – Onda con Tr 5 anni situazione di progetto

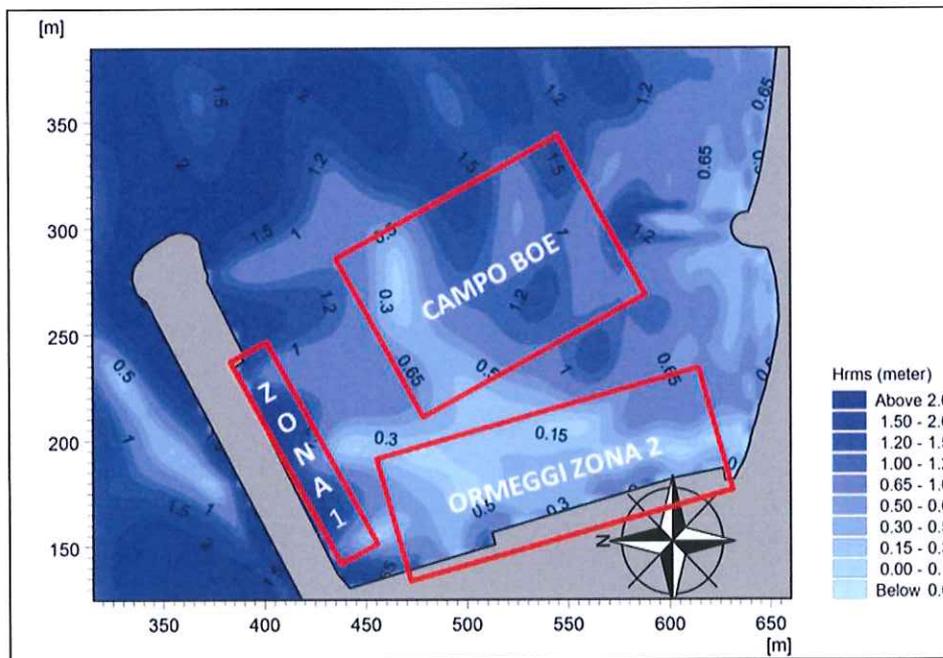


Figura 7 – Onda con Tr 10 anni situazione attuale

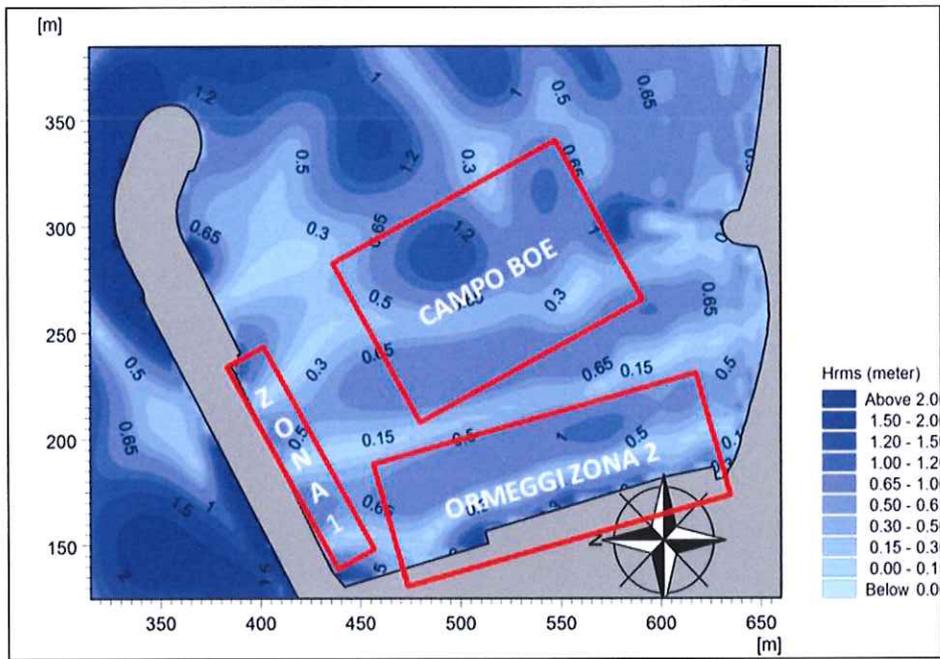


Figura 8 – Onda con Tr 10 anni situazione di progetto

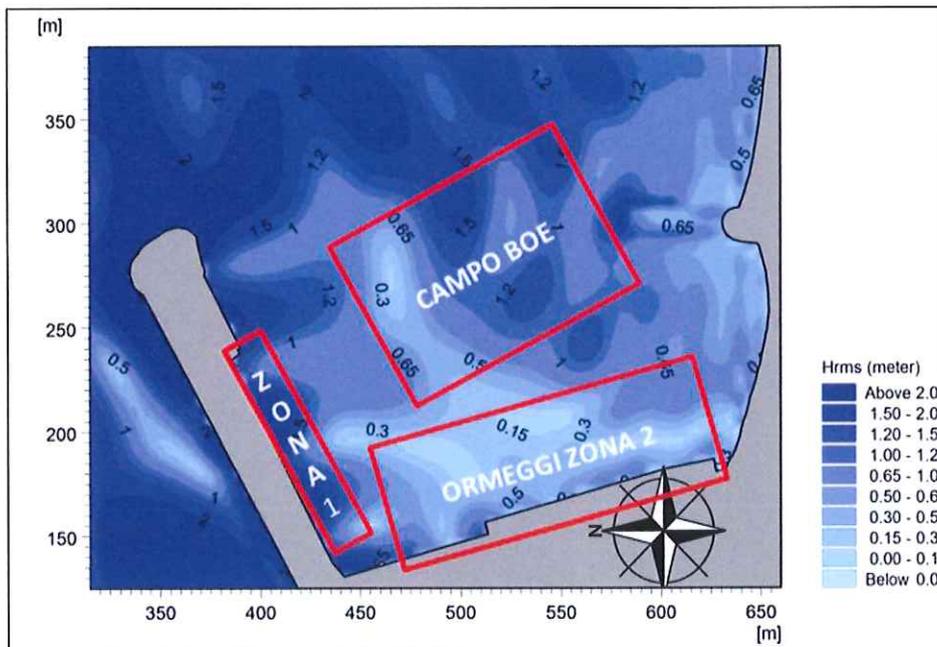


Figura 9 – Onda con Tr 30 anni situazione attuale

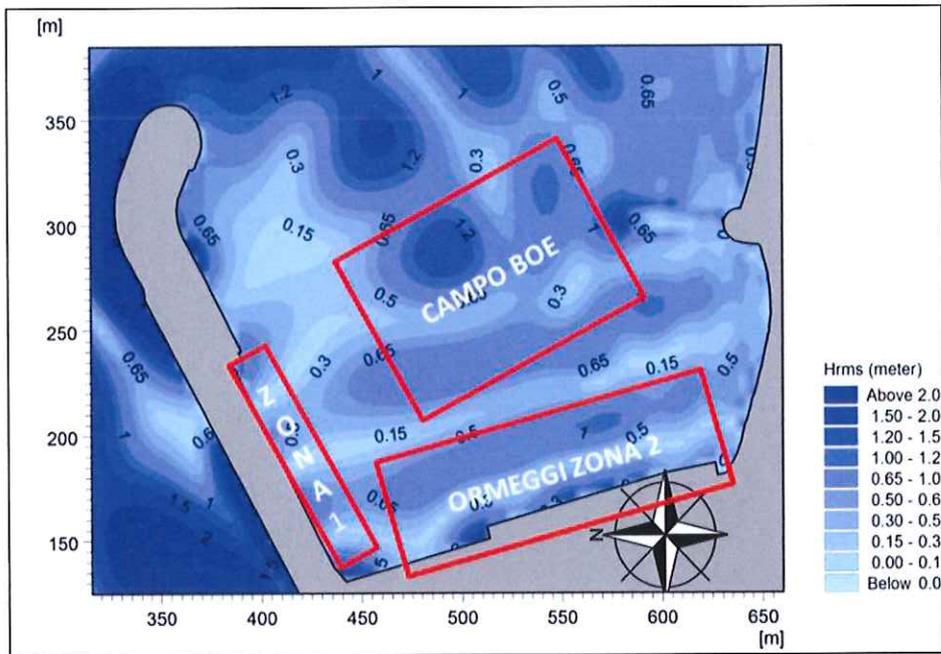


Figura 10 – Onda con Tr 30 anni situazione di progetto

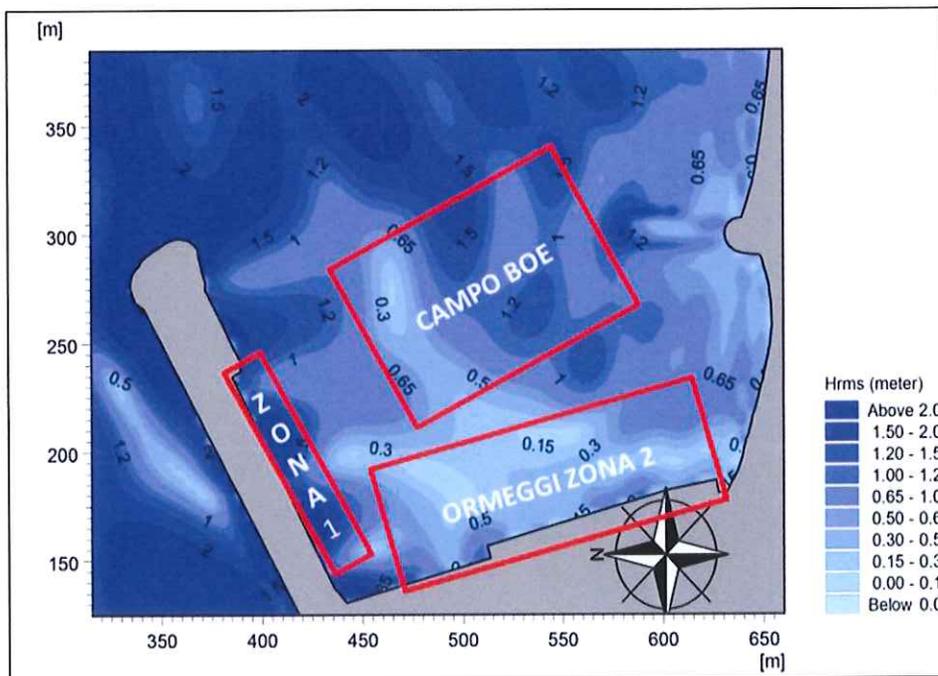


Figura 11 – Onda con Tr 50 anni situazione attuale

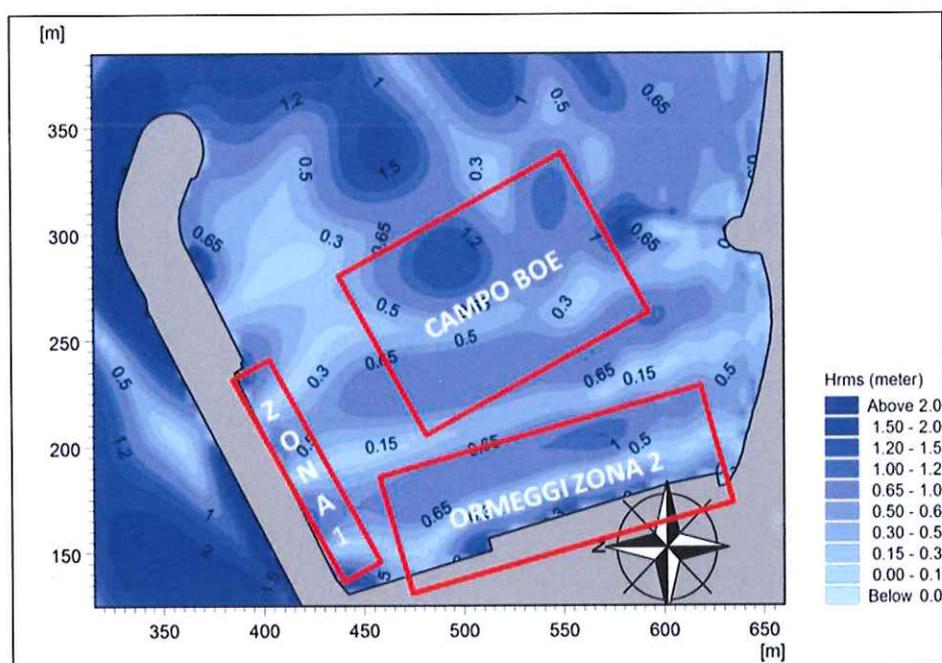


Figura 12 – Onda con Tr 50 anni situazione di progetto

3.3. Analisi dei risultati

Nelle seguenti Tabelle da 6 a 10, con riferimento ai valori medi di altezza d'onda calcolati in ciascuna zona di ormeggio selezionata, sono confrontati i risultati ottenuti con quelli ritenuti ammissibili dalle "Raccomandazioni tecniche per la progettazione dei porti turistici" dell'AIPCN.

Zona	Hs incidente	Tp incidente	Hmean (attuale)	Hmean (progetto)	Condizione confort ammissibile AIPCN
campo boe	2.61	7.54	1.15	0.19	0.15
zona ormeggio 1	2.61	7.54	1.3	0.17	0.15
zona ormeggio 2	2.61	7.54	0.3	0.13	0.15

Tabella 6 - Onda con frequenza massima non superiore a 5 giorni/anno con riferimento ai limiti AIPCN

Zona	Hs incidente	Tp incidente	Hmean (attuale)	Hmean (progetto)	Condizione sicurezza ammissibile AIPCN
campo boe	6.08	11.22	1.15	0.36	0.3
zona ormeggio 1	6.08	11.22	1.37	0.25	0.3
zona ormeggio 2	6.08	11.22	0.31	0.28	0.3

Tabella 7 - Onda con Tr 5 anni con riferimento ai limiti AIPCN

Zona	Hs incidente	Tp incidente	Hmean (attuale)	Hmean (progetto)	Condizione sicurezza ammissibile AIPCN
campo boe	6.48	11.58	1.18	0.38	0.3
zona ormeggio 1	6.48	11.58	1.41	0.25	0.3
zona ormeggio 2	6.48	11.58	0.33	0.29	0.3

Tabella 8 - Onda con Tr 10 anni con riferimento ai limiti AIPCN

Zona	Hs incidente	Tp incidente	Hmean (attuale)	Hmean (progetto)	Condizione sicurezza ammissibile AIPCN
campo boe	6.99	12.03	1.26	0.39	0.3
zona ormeggio 1	6.99	12.03	1.41	0.25	0.3
zona ormeggio 2	6.99	12.03	0.42	0.32	0.3

Tabella 9 - Onda con Tr 30 anni l con riferimento ai limiti AIPCN

Zona	Hs incidente	Tp incidente	Hmean (attuale)	Hmean (progetto)	Condizione sicurezza ammissibile AIPCN	Hmean (progetto)	Limite operativo ammissibile AIPCN
campo boe	7.34	12.32	1.3	0.43	0.3	0.43	0.5
ormeggio 1	7.34	12.32	1.42	0.25	0.3	0.25	0.5
ormeggio 2	7.34	12.32	0.4	0.35	0.3	0.35	0.5

Tabella 10 - Onda con Tr 50 anni con riferimento ai limiti AIPCN

In tabella 12 è riportato il confronto con le Secondo le indicazioni del *Canadian Manuscript Report of Fisheries and Aquatic Sciences No. 1629* del 1981, utilizzando onde con con periodo di ritorno pari a 50 anni e periodo di picco superiore a 6 secondi.

Direzione dell'ondazione rispetto al natante	Periodo di picco dell'ondazione, T, s	Hs, m		
		Periodo di ritorno dell'evento considerato		
		50 anni	1 anno	1 settimana
Frontale	T<2		0.31	0.30
	2<T<6	0.61	0.30	0.15
	6<T	0.61	0.30	0.15
Laterale	T<2		0.30	0.30
	2<T<6	0.23	0.15	0.08
	6<T	0.23	0.15	0.08

Tabella 11 – Indicazioni del *Canadian Manuscript Report of Fisheries and Aquatic Sciences*

Zona	Hs incidente	Tp incidente	Hmean (progetto)	Condizione ammissibile Beam	Condizione ammissibile Head
campo boe	7.34	12.32	0.43	0.23	0.61
ormeggio 1	7.34	12.32	0.25	0.23	0.61
ormeggio 2	7.34	12.32	0.35	0.23	0.61

Tabella 12 – Verifica delle condizioni ondose residue con riferimento al *Canadian Manuscript Report*

Infine in Tabella 13 è riportato il confronto con le raccomandazioni del *PIANC PTC II Report WG24*.

Caratteristiche all'imbocco					barche 4-10m		barche 10-16m		barche 20m	
Tr [anni]	zona	Hs [m]	Tp [s]	Hs mean	Beam	Head	Beam	Head	Beam	Head
5	C. boe	6.08	11.22	0.36	0.15	0.2	0.2	0.3	0.25	0.3
5	Zona 1	6.08	11.22	0.25	0.15	0.2	0.2	0.3	0.25	0.3
5	Zona 2	6.08	11.22	0.28	0.15	0.2	0.2	0.3	0.25	0.3
10	C. boe	6.48	11.58	0.38	0.15	0.2	0.2	0.3	0.25	0.3
10	Zona 1	6.48	11.58	0.25	0.15	0.2	0.2	0.3	0.25	0.3
10	Zona 2	6.48	11.58	0.29	0.15	0.2	0.2	0.3	0.25	0.3
30	C. boe	6.99	12.03	0.39	0.15	0.2	0.2	0.3	0.25	0.3
30	Zona 1	6.99	12.03	0.25	0.15	0.2	0.2	0.3	0.25	0.3
30	Zona 2	6.99	12.03	0.32	0.15	0.2	0.2	0.3	0.25	0.3
50	C. boe	7.34	12.32	0.43	0.15	0.2	0.2	0.3	0.25	0.3
50	Zona 1	7.34	12.32	0.25	0.15	0.2	0.2	0.3	0.25	0.3
50	Zona 2	7.34	12.32	0.35	0.15	0.2	0.2	0.3	0.25	0.3
F< 5gg/anno	C. boe	2.61	7.54	0.19	0.15	0.2	0.2	0.3	0.25	0.3
F< 5gg/anno	Zona 1	2.61	7.54	0.17	0.15	0.2	0.2	0.3	0.25	0.3
F< 5gg/anno	Zona 2	2.61	7.54	0.13	0.15	0.2	0.2	0.3	0.25	0.3

 valori ammissibili

Tabella 13 – Verifica delle condizioni ondose con riferimento al *PIANC PTC II Report WG24*

Con riferimento ai valori medi di altezza d'onda calcolati in ciascuna zona di ormeggio selezionata, si nota che i valori ammissibili suggeriti dalle “*Raccomandazioni tecniche per la progettazione dei porti turistici*” dell’AIPCN sono nella maggior parte dei casi rispettati. Incrociando però i dati i valori suggeriti dal *Canadian Manuscript Report* e dal *PIANC PTC II Report WG24* si evince che tale risultato deve intendersi per lo più riferito al caso di imbarcazioni medio grandi.

Sarà in ogni caso quindi prudente nelle zone a maggiore agitazione disporre le imbarcazioni di dimensioni maggiori e comunque disporre gli ormeggi in modo che l’onda investa frontalmente le barche, disposizione ottimale sia per ridurre le oscillazioni indotte sul natante sia le forze trasmesse agli ormeggi.