



COMUNE DI PESCARA

REGIONE ABRUZZO

PORTO DI PESCARA

PIANO REGOLATORE PORTUALE 2008

Titolo elaborato :

STUDIO DELLA NAVIGABILITA', DELL' OPERATIVITA' DELLE
IMBOCCATURE PORTUALI E DEL "DOWN TIME" DELLE BANCHINE

--	--	--

0	8
---	---

--	--	--

R

-	-	-
---	---	---

0

Coordinamento generale:

Dott. Ing. Chiara BARILE

Responsabile Unico del Procedimento:

Dott. Ing. Luciano DE BIASE

Coordinatore gruppo di progettazione:

Prof. Ing. Alberto NOLI

Aspetti marittimi e modellistica idraulica:

Prof. Ing. Paolo DE GIROLAMO

Aspetti urbanistici e architettonici:

Prof. Arch. Rosario PAVIA

Prof. Arch. Giuseppe BARBIERI

Dott. Arch. Raffaella MASSACESI

Aspetti trasportistici - Connessioni terrestri:

T.P.S. - Dott. Ing. Guido Francesco MARINO

Aspetti ambientali:

MED Ingegneria s.r.l. - Dott. Ing. Paolo ATZENI

Aspetti geologici:

Dott. Geol. Francesco IEZZI

Aspetti geotecnici:

Prof. Ing. Giuseppe SCARPELLI

Aspetti socio - economici:

ECOSFERA - Dott. Ing. Domenico NEVOSO

	Nov. 2008			P. De Girolamo		
Rif. Dis.	Data	Rev.	DESCRIZIONE	Redatto:	Verificato:	Approvato:

INDICE

1	PREMESSE	2
2	STUDIO DELLA NAVIGABILITÀ	3
2.1	ANALISI DEGLI SPAZI UTILI E DELLE ROTTE DI ACCESSO	5
2.1.1	<i>Profondità dei canali di accesso</i>	<i>5</i>
2.1.2	<i>Larghezza canali di accesso</i>	<i>6</i>
2.2	CERCHIO DI EVOLUZIONE	12
3	STUDIO DELL'OPERATIVITÀ DELLE IMBOCCATURE PORTUALI	15
3.1	DEFINIZIONE DELL'ALTEZZA D'ONDA LIMITE AL FRANGIMENTO	15
3.2	PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO DELL'ALTEZZA D'ONDA LIMITE AL FRANGIMENTO	16
4	STUDIO DEL "DOWN TIME" DELLE BANCHINE	18
4.1	LIMITI DI OPERATIVITÀ DELLE BANCHINE	20
4.2	CONCLUSIONI	23

1 PREMESSE

Con riferimento alla redazione del Piano Regolatore del Porto (PRP) di Pescara, il Comune di Pescara ha incaricato lo scrivente Prof. Ing. Paolo De Girolamo (Prot. N. 502/AT – generale n. 21394) dei servizi tecnici relativi agli aspetti marittimi. Nell'ambito di tale incarico è stato redatto lo studio della navigabilità, dell'operatività delle imboccature portuali e del "down time" delle banchine, di cui il presente documento costituisce il rapporto finale.

Per la redazione del presente studio, il Prof. De Girolamo si è avvalso della collaborazione dell'Ing. Andrea Sanzone.

Il lavoro ha riguardato lo studio della navigabilità, dell'operatività portuale e del down time delle banchine per la nuova configurazione di Piano Regolatore Portuale per il porto di Pescara.

2 STUDIO DELLA NAVIGABILITÀ

Per un corretta disposizione, dimensionamento ed ottimizzazione degli specchi acquei che caratterizzano un bacino portuale ovvero dell'imboccatura dello stesso è necessario considerare gli spazi minimi necessari alle imbarcazioni per le manovre d'ormeggio, d'ingresso e d'uscita dalle aree portuali con particolare riferimento ai canali di accesso ed ai cerchi di evoluzione.

Nel caso particolare, per il nuovo porto di Pescara previsto dal presente P.R.P. sono state preliminarmente scelte, in relazione ai diversi bacini che lo caratterizzano, le navi di progetto cui fare riferimento per la determinazione di tutti i parametri necessari alla definizione dei canali di accesso e degli spazi (cerchi di evoluzione) necessari per le manovre delle imbarcazioni.

Di seguito vengono riportate le caratteristiche principali delle navi di progetto ipotizzate per i diversi bacini.

- **Bacino Commerciale**

Ro-Ro Pax		Navi da crociera	
stazza lorda	74.600 t	stazza lorda	122.000 t
lunghezza fuori tutto (L)	224 m	lunghezza fuori tutto (L)	315 m
larghezza a quota medio mare (B)	35 m	larghezza a quota medio mare (B)	36.8 m
pescaggio (d)	6.8 m	pescaggio (d)	6.1 m
numero massimo di passeggeri	2750	numero massimo di passeggeri	2850
numero massimo di auto	750		

- **Bacino Pescherecci**

lunghezza fuori tutto (L)	30 m
larghezza a quota medio mare (B)	7 m
pescaggio (d)	3 m

- **Nuovo corso del fiume Pescara**

lunghezza fuori tutto (L)	32 m
larghezza a quota medio mare (B)	6 m
pescaggio (d)	2 m

Per le tipologie delle imbarcazioni previste è stata individuata la possibile rotta di accesso ai diversi bacini portuali tenendo in considerazione gli spazi acquei ridossati alla traversia principale, nonché la necessità di evitare una manovra di accesso al porto nella quale il natante sia costretto ad un tratto eccessivamente lungo con andatura al traverso rispetto al moto ondoso.

Peraltro si è tenuto conto dei pescaggi massimi raggiungibili ovvero delle profondità minime dei fondali da garantire lungo tutti gli spazi destinati al transito, alla manovra ed all'ormeggio.

Le verifiche effettuate sulle nuove configurazioni portuali hanno dimostrato la validità della soluzione progettuale prescelta garantendo, per entrambe i bacini progettati e per il nuovo corso del fiume Pescara, con riferimento all'imbarcazione più grande che potrà frequentare i rispettivi bacini, adeguati canali di accesso e spazi di manovra con ampi margini di correzione e dovute condizioni di sicurezza.

Nei paragrafi seguenti verranno esaminati i parametri principali che caratterizzano un canale di accesso portuale, larghezza e profondità, e gli spazi di manovra (cerchi di evoluzione) a servizio dei nuovi bacini portuali previsti dal presente studio di P.R.P. in relazione alle imbarcazioni di progetto ipotizzate.

2.1 Analisi degli spazi utili e delle rotte di accesso

Nel presente paragrafo vengono descritti i criteri principali ed i risultati ottenuti per il dimensionamento e posizionamento delle aree e dei canali di accesso necessari per le manovre delle imbarcazioni in fase di ormeggio, ingresso ed uscita dai bacini portuali. Riguardo alla determinazione della profondità e della larghezza del canale di accesso, riferita alla quota di fondo del canale, è stato adottato il metodo suggerito dall'AIPCN (Associazione Internazionale Permanente dei Congressi di Navigazione) nel report "Approach Channels. A Guide for Design" del 1997.

2.1.1 Profondità dei canali di accesso

Per quanto riguarda le profondità dei fondali prescelte per i canali di accesso e nei diversi bacini interni si sono anzitutto considerati i dati di immersione delle navi di progetto prese come riferimento e sopra riportate.

Per calcolare le profondità minime richieste si può impiegare la seguente espressione:

$$D_{min} = D_r + 0.5 H_d + D_s + B_m + F$$

dove:

- D_{min} = profondità minima rispetto al medio mare (m);
- D_r = immersione delle maggiori imbarcazioni in transito (m);
- H_d = altezza d'onda più frequente, considerata normalmente pari a $0,63H_s$;
- D_s = abbassamento di poppa per andature in dislocaimento;
- B_m = escursione negativa del livello per bassa marea e set-down;
- F = franco, variabile in funzione del tipo di fondale (sabbioso o roccioso).

Nel caso in esame, assumendo un franco $F = 0.5$ m (essendo il fondale sabbioso) e considerando un livello di bassa marea pari a 0.3 m, per i diversi bacini si ottiene quanto segue.

– **Bacino pescherecci**

Per il calcolo della profondità minima del canale di accesso si è tenuto conto di un'altezza d'onda significativa massima pari a 3 m, limite massimo ipotizzato per garantire l'accesso in sicurezza al nuovo bacino pescherecci.

$$D_{min} = (D_r) 3 \text{ m} + (H_d) 0.5 \times 0.63 \times 3 \text{ m} + (D_s) 0.15 \text{ m} + (B_m) 0.3 \text{ m} + (F) 0.5 \text{ m} = 4.9 \text{ m}$$

– **Bacino commerciale**

Per il calcolo della profondità minima del canale di accesso si è tenuto conto di un'altezza d'onda significativa massima pari a 2 m in quanto il canale stesso risulta ridossato rispetto agli eventi più gravosi provenienti dal settore di grecale.

$$D_{min} = (D_r) 6.8 \text{ m} + (H_d) 0.5 \times 0.63 \times 2 \text{ m} + (D_s) 0.2 \text{ m} + (B_m) 0.3 \text{ m} + (F) 0.5 \text{ m} = 8.4 \text{ m}$$

– **Fiume Pescara**

Per il calcolo della profondità minima del canale di accesso si è tenuto conto della massima altezza d'onda significativa raggiungibile nel paraggio ($H_s=5\text{m}$), rappresentativa di condizioni di mare estreme.

$$D_{min} = (D_r) 2\text{m} + (H_d) 0.5 \times 0.63 \times 5 \text{ m} + (D_s) 0.15 \text{ m} + (B_m) 0.3 \text{ m} + (F) 0.5 \text{ m} = 4.5\text{m}$$

E' importante sottolineare che nelle aree interne la profondità può essere considerata via via minore per la ridotta agitazione residua e l'eventuale minor immersione dei natanti.

2.1.2 Larghezza canali di accesso

La larghezza dei canali di accesso è stata esaminata sia nel caso di canali a doppio senso di navigazione sia in quello a senso alternato.

Nel caso di canale a doppio senso di navigazione, la larghezza totale è funzione di tre parametri che dipendono principalmente dalla larghezza della nave B (Figura 2.1):

- larghezza della corsia di manovra W_M (*manoeuvring lane*),
- distanza minima di passaggio tra le navi W_P (*passing distance*),
- larghezza del franco di sponda W_B (*bank clearance*).

Nel caso di canale a senso alternato di navigazione i parametri si riducono a due in quanto non si tiene conto della distanza minima di passaggio tra le navi W_P .

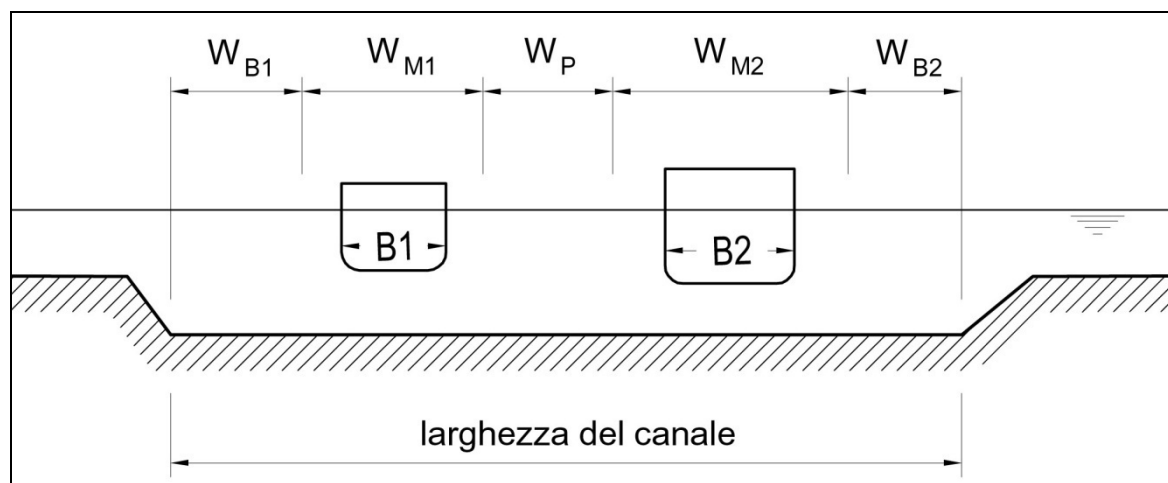


Figura 2.1 - Schema di riferimento per determinare la larghezza del canale di accesso

La larghezza della corsia di manovra W_M è pari alla somma di una larghezza di base, che dipende dalla manovrabilità della nave, e degli incrementi dovuti in generale ai seguenti fattori:

- velocità della nave,
- vento trasversale,
- correnti,
- moto ondoso,
- aiuti alla navigazione,
- caratteristiche della superficie del fondale,
- profondità del canale,
- livello di rischio.

La larghezza di base varia da **1.3 B** nel caso di nave con buona manovrabilità a **1.8 B** nel caso di bassa manovrabilità, mentre gli incrementi possono raggiungere un valore superiore a **3 B** (densità di traffico elevata)

La distanza minima di passaggio tra le navi W_P , ha la funzione di scongiurare tra le due navi in transito un'eccessiva interazione costituita da forze di attrazione e repulsione. Tale distanza dipende dalla velocità di navigazione e dalla densità del traffico.

Inoltre, il franco di sponda W_B ha la funzione di contenere l'effetto sponda (*bank effect*) dovuto al flusso asimmetrico di acqua attorno alle navi che tende a deviarne la rotta. Tale larghezza dipende dalla velocità di navigazione e dalle caratteristiche della sponda.

Si precisa che per i valori da associare ai diversi fattori di incremento, da considerare per il dimensionamento della larghezza dei canali di accesso, si è fatto riferimento alle tabelle riportate dall'AIPCN.

Per determinare le dimensioni dei canali di navigazione relativi ai diversi bacini in progetto sono stati ipotizzati i seguenti casi.

Bacino Pescherecci:

- transito contemporaneo di due navi pescherecci;
- transito a senso alterno di due navi pescherecci.

Bacino Commerciale

- transito contemporaneo di una nave da crociera e di una nave traghetto-RoRo Pax;
- transito contemporaneo di due navi traghetto-RoRo Pax;
- transito a senso alterno considerando sia una nave da crociera che una nave traghetto-RoRo Pax.

Fiume Pescara

- transito contemporaneo di due yacht a motore (vedi nave da progetto);
- transito a senso alterno di due yacht a motore (vedi nave da progetto).

Con riferimento ai valori riportati dall' AIPCN/PIANC, 1997, "Approach Channels. A Guide for Design", il dimensionamento e le verifiche dei canali di accesso sono state effettuate considerando una velocità di navigazione nel canale bassa, un vento moderato (<33 nodi), correnti longitudinali e trasversali basse e trascurabili, un incremento dovuto al moto ondoso pari a 0.5 **B**, un livello di rischio ed una densità di traffico bassa, sia perché le navi di progetto non trasportano merci pericolose, sia perché le combinazioni di contemporaneità delle navi in transito hanno una probabilità di verificarsi estremamente bassa.

I risultati del dimensionamento vengono riportati nelle tabelle seguenti.

Tabella 2.1 – Canale di accesso per il bacino commerciale

TIPOLOGIA DI NAVE	LUNGHEZZA FUORI TUTTO (L)	LARGHEZZA A QUOTA MEDIO MARE (B)	PESCAGGIO (d)
CROCIERA	315 m	36.8 m	6.1 m
RO-RO PAX	224 m	35 m	6.8 m

DOPPIO SENSO DI NAVIGAZIONE: NAVE DA CROCIERA E RO-RO PAX

LARGHEZZA DELLA CORSIA DI MANOVRA W_M		LARGHEZZA DEL FRANCO DI SPONDA W_B	DISTANZA MINIMA DI PASSAGGIO TRA LE NAVI W_P	TOTALE
base	incrementi			
NAVE DA CROCIERA				
1.3 B = 48 m	0.8 B = 29.5 m 0.5 B = 18.4 m	0.3 B = 11 m	1.0 B = 36.8 m	143.7 m
NAVE TRAGHETTO RO-RO PAX				
1.3 B = 45.5 m	0.8 B = 28 m 0.5 B = 17.5 m	0.3 B = 10.5 m		101.5 m
TOTALE LARGHEZZA DEL CANALE				≈ 245 m

DOPPIO SENSO DI NAVIGAZIONE: NAVE RO-RO PAX E RO-RO PAX

LARGHEZZA DELLA CORSIA DI MANOVRA W_M		LARGHEZZA DEL FRANCO DI SPONDA W_B	DISTANZA MINIMA DI PASSAGGIO TRA LE NAVI W_P	TOTALE
base	incrementi			
NAVE TRAGHETTO RO-RO PAX				
1.3 B = 45.5 m	0.8 B = 28 m 0.5 B = 17.5 m	0.3 B = 10.5 m	1.0 B = 35 m	136.5 m
1.3 B = 45.5 m	0.8 B = 28 m 0.5 B = 17.5 m	0.3 B = 10.5 m		101.5 m
TOTALE LARGHEZZA DEL CANALE				238 m

UN SOLO SENSO DI NAVIGAZIONE: NAVE DA CROCIERA O NAVE TRAGHETTO RO-RO PAX

LARGHEZZA DELLA CORSIA DI MANOVRA W_M		LARGHEZZA DEL FRANCO DI SPONDA W_B	TOTALE
base	incrementi		
NAVE DA CROCIERA			
1.3 B = 48 m	0.8 B = 29.5 m 0.5 B = 18.4 m	2 × (0.3 B) = 22 m	≈ 118 m
NAVE TRAGHETTO RO-RO PAX			
1.3 B = 45.5 m	0.8 B = 28 m 0.5 B = 17.5 m	2 × (0.3 B) = 21 m	112 m

Tabella 2.2 – Canale di accesso per il bacino pescherecci

TIPOLOGIA DI NAVE	LUNGHEZZA FUORI TUTTO (L)	LARGHEZZA A QUOTA MEDIO MARE (B)	PESCAGGIO (d)
PESCHERECCIO	30 m	7 m	3 m

DOPPIO SENSO DI NAVIGAZIONE: PESCHERECCIO - PESCHERECCIO

LARGHEZZA DELLA CORSIA DI MANOVRA W_M		LARGHEZZA DEL FRANCO DI SPONDA W_B	DISTANZA MINIMA DI PASSAGGIO TRA LE NAVI W_P	TOTALE
base	incrementi			
PESCHERECCIO				
1.3 B = 9.1 m	0.8 B = 5.6 m 0.5 B = 3.5 m	0.3 B = 2.1 m	1.0 B = 7 m	≈ 27 m
1.3 B = 9.1 m	0.8 B = 5.6 m 0.5 B = 3.5 m	0.3 B = 2.1 m		≈ 20 m
TOTALE LARGHEZZA DEL CANALE				≈ 47 m

UN SOLO SENSO DI NAVIGAZIONE: PESCHERECCIO

LARGHEZZA DELLA CORSIA DI MANOVRA W_M		LARGHEZZA DEL FRANCO DI SPONDA W_B	TOTALE
base	incrementi		
PESCHERECCIO			
1.3 B = 9.1 m	0.8 B = 5.6 m 0.5 B = 3.5 m	0.3 B = 2.1 m	≈ 20 m

Tabella 2.3 – Canale di accesso per il nuovo corso del fiume Pescara

TIPOLOGIA DI NAVE	LUNGHEZZA FUORI TUTTO (L)	LARGHEZZA A QUOTA MEDIO MARE (B)	PESCAGGIO (d)
YACHT	32 m	6 m	2 m

DOPPIO SENSO DI NAVIGAZIONE: YACHT - YACHT

LARGHEZZA DELLA CORSIA DI MANOVRA W_M		LARGHEZZA DEL FRANCO DI SPONDA W_B	DISTANZA MINIMA DI PASSAGGIO TRA LE NAVI W_P	TOTALE
base	incrementi			
YACHT				
1.3 B = 7.8 m	0.8 B = 4.8 m 0.5 B = 3 m	0.3 B = 1.8 m	1.0 B = 6 m	23.4 m
1.3 B = 7.8 m	0.8 B = 4.8 m 0.5 B = 3 m	0.3 B = 1.8 m		17.4 m
TOTALE LARGHEZZA DEL CANALE				≈ 41 m

UN SOLO SENSO DI NAVIGAZIONE: YACHT

LARGHEZZA DELLA CORSIA DI MANOVRA W_M		LARGHEZZA DEL FRANCO DI SPONDA W_B	<i>TOTALE</i>
base	incrementi		
YACHT			
1.3 $B = 7.8$ m	0.8 $B = 4.8$ m 0.5 $B = 3$ m	0.3 $B = 1.8$ m	17.4 m

Dalle analisi effettuate e dai calcoli eseguiti risulta che solo per il canale di accesso al bacino commerciale non è consentito, viste la larghezza di progetto ipotizzata (150 m), il doppio senso di navigazione.

Per lo stesso bacino è consentito invece l'accesso delle navi a senso alternato di navigazione, in quanto la larghezza minima necessaria per il canale, dipendente dalla nave da crociera (dimensioni maggiori), risulta pari a circa 118 m e quindi ampiamente soddisfatta rispetto alle dimensioni di progetto.

Va peraltro evidenziato che, nella gestione degli accessi, si dovrà prevedere la precedenza per le imbarcazioni in entrata per ovvie ragioni di sicurezza.

Per quanto riguarda invece i canali di accesso al bacino pescherecci ed al nuovo corso del fiume Pescara le dimensioni di progetto ipotizzate garantiscono con ampi margini di sicurezza il transito delle imbarcazioni a doppio senso di navigazione.

In conclusione: per il bacino pescherecci è garantito l'accesso a doppio senso di navigazione grazie alle caratteristiche del canale ipotizzato, orientato secondo la direzione 130°N-310°N ed avente una larghezza pari a 75 m (Figura 2.2); per il porto commerciale di Pescara, viste le caratteristiche del canale ipotizzato, orientato secondo la direzione 98°N-188°N ed avente una larghezza pari a 150 m (Figura 2.3), è consentito il solo transito a senso alternato; per il nuovo corso del fiume Pescara si è ipotizzato un canale di accesso orientato secondo la direzione 63°N-243°N ed avente una larghezza pari a 64 m (Figura 2.4) che consente con ampi margini di sicurezza il transito a doppio senso di navigazione.

2.2 Cerchio di evoluzione

Le dimensioni del cerchio di evoluzione sono funzione della manovrabilità e della lunghezza L delle navi di progetto.

I valori minimi del diametro del cerchio di evoluzione D generalmente utilizzati (v. C. A. Thoresen, 2003, "Port designer's handbook: recommendations and guidelines", G. P. Tsinker, 2004, "Port engineering: planning, construction, maintenance and security") sono riportati di seguito:

- manovra in condizioni sfavorevoli senza assistenza dei rimorchiatori e senza l'utilizzo dei propulsori laterali $D=4 L$;
- manovra in condizioni favorevoli senza assistenza dei rimorchiatori e senza l'utilizzo dei propulsori laterali $D=3 L$;
- manovra assistita dai rimorchiatori e/o con l'utilizzo dei propulsori laterali $D=1.5-2 L$;
- manovra con l'utilizzo di ancore o briccole $D=1.2 L$.

Per quanto riguarda il bacino pescherecci si è ipotizzato, vista la presenza di un ampio avamporto ed il tipo di imbarcazioni che lo frequenteranno, di manovrare in condizioni favorevoli, senza assistenza dei rimorchiatori e senza l'utilizzo di propulsori laterali ($D=3L$).

Pertanto nella zona avamportuale del bacino in questione, caratterizzata da un cerchio di evoluzione con un diametro pari a circa 100 m (Figura 2.2), sono possibili le manovre di evoluzione in sicurezza con navi di lunghezza fino a 33 m.

Per quanto riguarda il bacino commerciale e più in particolare per le navi Ro-Ro Pax si è ipotizzato, visto che il cerchio di evoluzione è situato all'interno del bacino ed il tipo di navi che lo frequenteranno, di manovrare in condizioni favorevoli, con l'assistenza dei rimorchiatori e con l'utilizzo di propulsori laterali ($D=1.5L$).

Pertanto per il bacino in questione, caratterizzato da un cerchio di evoluzione con un diametro pari a circa 285 m (Figura 2.3), sono possibili le manovre di evoluzione in sicurezza con navi di lunghezza fino a 190 m.

Si precisa che qualora si volesse consentire l'accesso a navi di dimensioni maggiori, sino ad un massimo di 230 m di lunghezza, è possibile prevedere la manovra all'esterno del bacino portuale ove è previsto un cerchio di evoluzione avente un diametro di circa 350 m tutto dragato a quota -8.0 m (Figura 2.5).

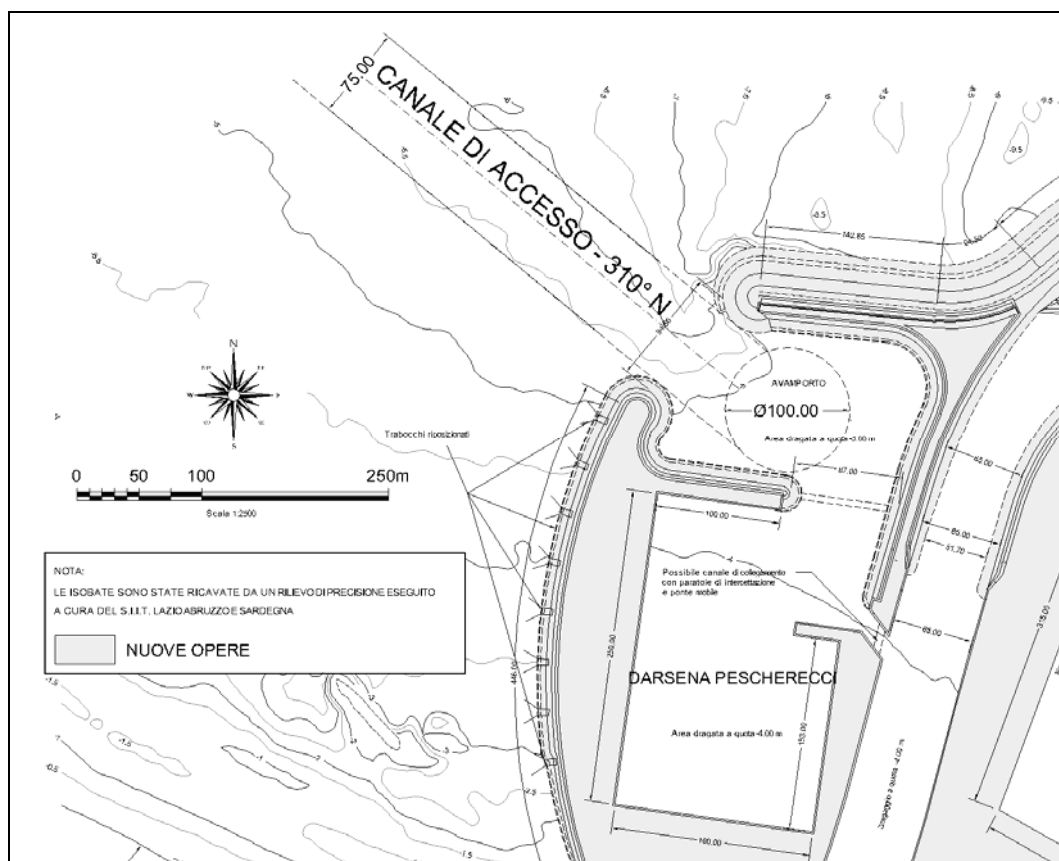


Figura 2.2 – Bacino pescherecci: planimetria di progetto con l'indicazione del canale di accesso

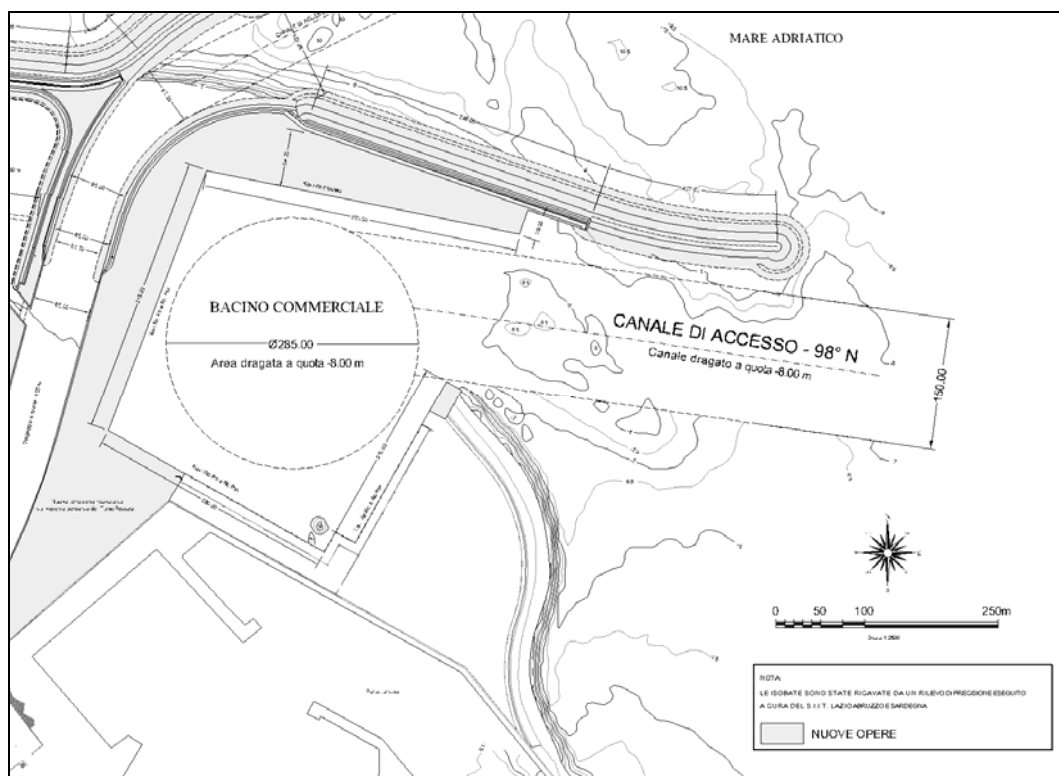


Figura 2.3 – Bacino commerciale: planimetria di progetto con l'indicazione del canale di accesso

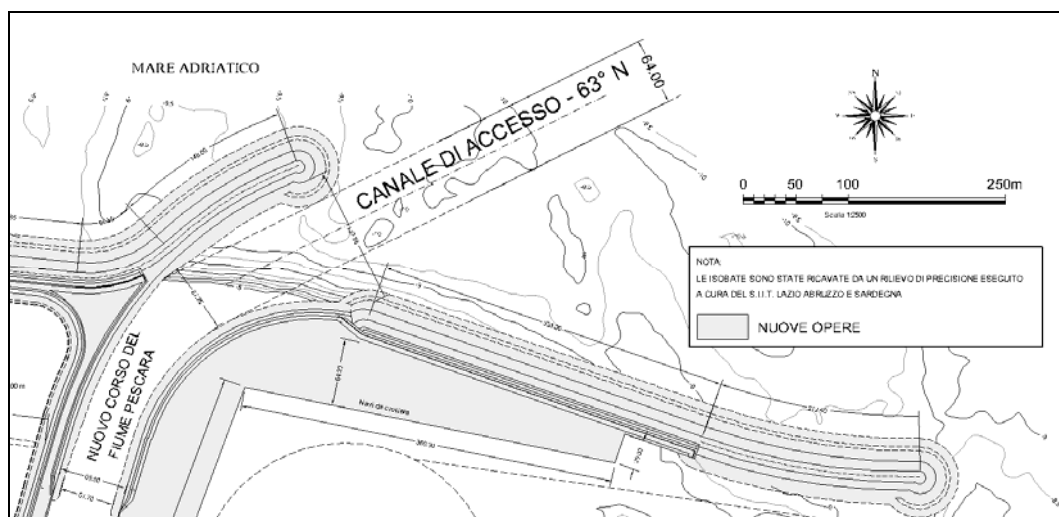


Figura 2.4 – Foce fiume Pescara: planimetria di progetto con l'indicazione del canale di accesso

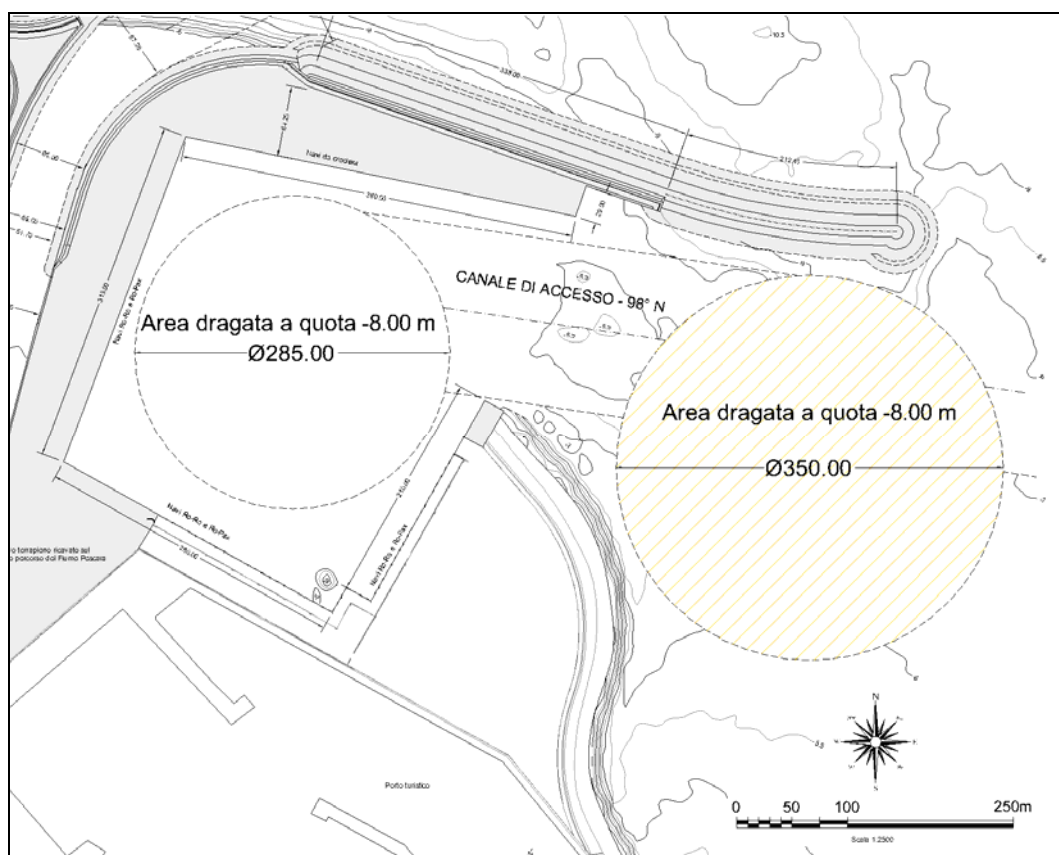


Figura 2.5 – Bacino commerciale: planimetria di progetto con l'indicazione del possibile cerchio di evoluzione (D=350m) ubicato in prossimità dell'imboccatura portuale.

3 STUDIO DELL'OPERATIVITÀ DELLE IMBOCCATURE PORTUALI

Un altro aspetto molto importante relativo ai fondali che condiziona l'agibilità portuale e la sicurezza della navigazione è la probabilità di frangimento all'imboccatura.

In particolare non si potrà considerare agibile l'imboccatura del porto quando si sarà in presenza di una frequente successione di onde frangenti.

Nel presente capitolo, analizzata preliminarmente la serie storica propagata in prossimità del porto di Pescara (per maggiori dettagli si rimanda allo studio meteo marino allegato al presente progetto di P.R.P.), viene descritto il criterio utilizzato per poter definire l'altezza d'onda limite al frangimento per i diversi fondali che caratterizzano le tre imboccature dei bacini portuali e di conseguenza l'operatività degli stessi in relazione al frangimento.

3.1 Definizione dell'altezza d'onda limite al frangimento

L'altezza d'onda al frangimento (H_b) può essere valutata attraverso l'espressione consigliata da Goda (1985):

$$H_b = L_o \times 0.12 \times \left\{ 1 - \exp \left[- \frac{1.5 \cdot \pi \cdot d_b}{L_o} \cdot (1 + 15 \cdot \tan^{4/3} \vartheta) \right] \right\}$$

dove:

- $L_o = g T_m^2 / (2\pi)$: lunghezza d'onda al largo (m)
- d_b : profondità di frangimento (m)
- ϑ : pendenza del fondale ($\tan \vartheta = 1/100$)

Attraverso tale formula è stato possibile definire per diverse classi di periodo d'onda medio (T_m) il limite di frangimento in termini di altezza d'onda (H_b) in relazione a diversi valori della profondità del fondale (Tabella 3.1).

Tabella 3.1 – Limiti di frangimento in termini di altezza d'onda suddivisi per classi di periodo medio e profondità del fondale.

$d_b \text{ (m)}$	CLASSI DI PERIODO MEDIO T_m (s)					
	$T_m < 4$	$4 \leq T_m < 6$	$6 \leq T_m < 8$	$8 \leq T_m < 10$	$10 \leq T_m < 12$	$12 \leq T_m < 14$
5.0	2.76	3.24	3.76	4.02	4.15	4.23
5.5	2.90	3.46	4.08	4.37	4.54	4.63
6.0	3.04	3.67	4.38	4.72	4.91	5.03
6.5	3.16	3.86	4.67	5.07	5.29	5.42
7.0	3.27	4.04	4.95	5.40	5.66	5.81
7.5	3.36	4.21	5.22	5.73	6.02	6.20
8.0	3.45	4.36	5.48	6.06	6.38	6.58
8.5	3.53	4.51	5.73	6.37	6.73	6.95
9.0	3.60	4.65	5.98	6.68	7.08	7.33

3.2 Probabilità di superamento dell'altezza d'onda limite al frangimento

Individuato il valore limite al frangimento, in termini di altezza d'onda, per le diverse profondità del fondale che caratterizzano le tre imboccature portuali è necessario stabilire, in relazione al regime d'onda annuale ricostruito in prossimità del porto di Pescara (vedi studio meteomarino, punto P2), quanto questo venga mediamente superato ogni anno ovvero un tempo di operatività portuale.

A tal fine si è ipotizzato che per un dato stato di mare, caratterizzato da un'altezza d'onda significativa H_s , i valori delle altezze d'onda H associate a questo siano distribuiti secondo la distribuzione di probabilità alla Rayleigh:

$$F(H) = 1 - \exp\left[-2\left(\frac{H}{H_s}\right)^2\right]$$

Per determinare la frequenza di frangimento in un anno medio climatico in prossimità delle aree (profondità variabile tra -5 e -8 m s.l.m.) antistanti le diverse imboccature portuali è stato necessario calcolare, per ogni stato di mare relativo alla serie ondometrica ricostruita davanti al porto di Pescara, la probabilità $F(H_b)$ che un certo valore dell'altezza d'onda superi il valore limite al frangimento.

In particolare per i diversi bacini, considerando una determinata fascia di frangimento opportunamente scelta (Tabella 3.1) e quindi un valore medio di superamento relativo a tale fascia, si ottengono i seguenti risultati.

Per il bacino commerciale, con una profondità dei fondali antistanti l'imboccatura portuale variabile tra -9 e -6 m s.m., si ottiene una frequenza di frangimento pari a

circa lo 0.12% ed un'inoperosità del porto per una durata complessiva di circa 11 ore l'anno.

Per il bacino pescherecci, con una profondità dei fondali antistanti l'imboccatura portuale variabile tra -8 e -5 m s.m., si ottiene una frequenza di frangimento pari a circa lo 0.26% ed un'inoperosità del porto per una durata complessiva di circa un giorno l'anno.

Per il nuovo corso del fiume Pescara, con una profondità dei fondali antistanti l'imboccatura della foce variabile tra -9 e -6 m s.m., si ottengono gli stessi risultati ottenuti per il bacino commerciale.

I risultati ottenuti mostrano come per i diversi bacini in progetto le profondità delle imboccature portuali garantiscano, salvo qualche caso particolare, l'ingresso alle imbarcazioni in condizioni di sicurezza senza che si verifichino spiacevoli fenomeni di frangimento in prossimità delle imboccature portuali.

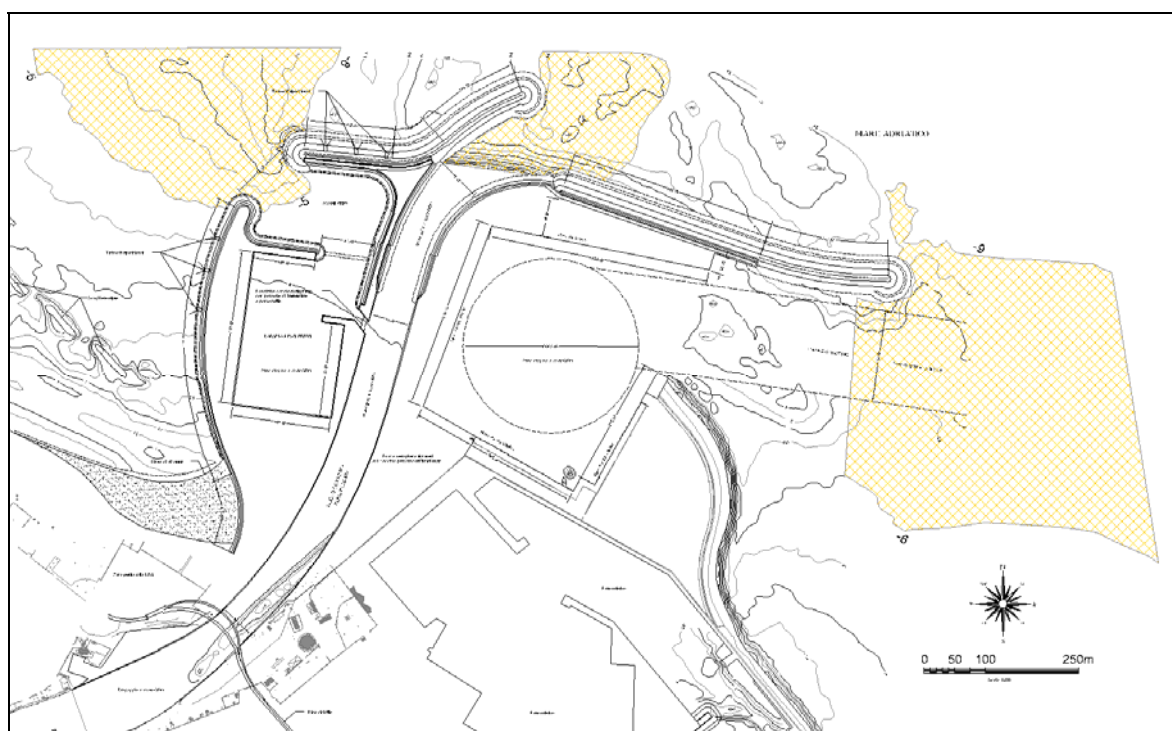


Figura 3.1 – Aree di riferimento per il calcolo della frequenza di frangimento

4 STUDIO DEL “DOWN TIME” DELLE BANCHINE

Il grado di attenuazione del moto ondoso all'interno dei bacini portuali e quindi i livelli di agitazione all'interno degli stessi risultano di fondamentale importanza per garantire la sicurezza dei natanti in fase di ormeggio e nelle operazioni di carico e scarico merci lungo le banchine portuali. Nel caso particolare di Pescara, sulla base dei risultati ottenuti dallo studio “*Studio dell'agitazione interna portuale*”, redatto nell'ambito del presente progetto di P.R.P. e a cui si rimanda per maggiori dettagli, è stato effettuato uno studio sul “*Down Time*” delle banchine che caratterizzano il nuovo bacino commerciale. Più nel dettaglio, per diverse aree opportunamente scelte e riportate in Figura 4.1, sono stati analizzati i valori del coefficiente di agitazione ondosa residua al fine di poter fornire indicazioni oggettive sul grado di operatività delle quattro banchine presenti nel nuovo bacino commerciale.

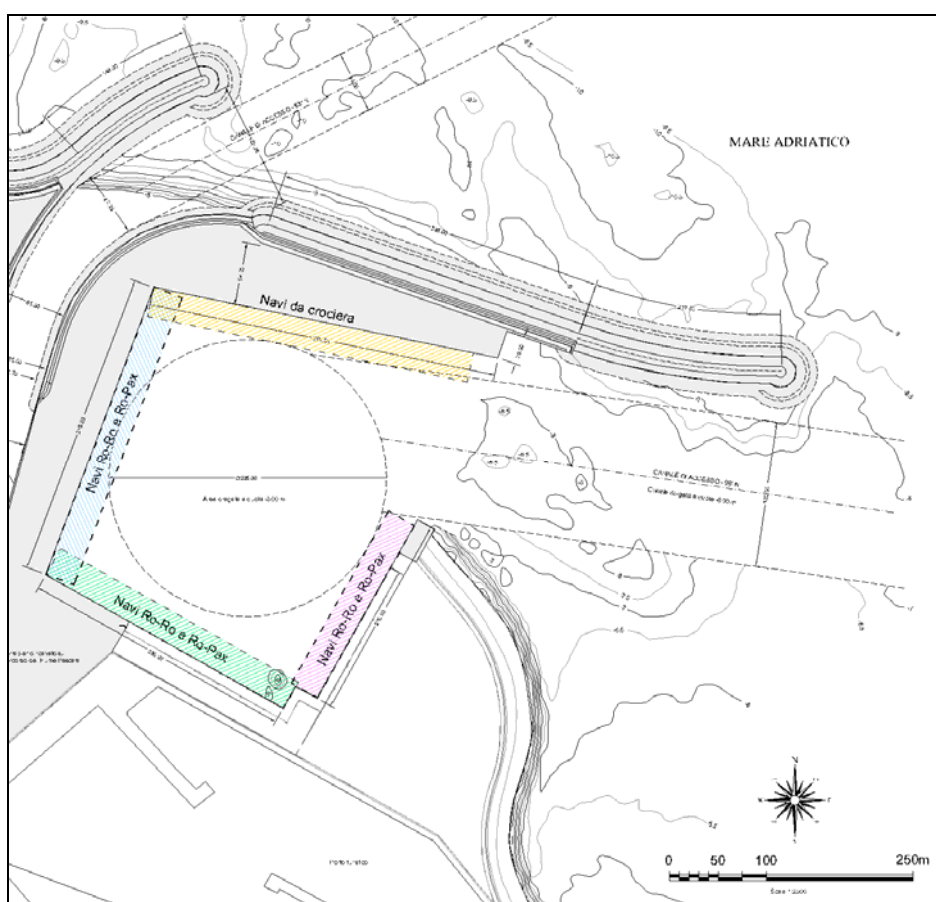


Figura 4.1 – indicazione delle aree di riferimento utilizzate per l'analisi del coefficiente di agitazione ondosa residua calcolato con il modello VEGA (vedi “*Studio dell'agitazione interna portuale*” allegato al presente progetto).

Nel presente studio sono stati presi in esame i soli risultati ottenuti dalle simulazioni effettuate con eventi di moto ondoso provenienti dalle direzioni di 80°N e 100°N, più gravose ai fini dell'agitazione ondosa all'interno del bacino in esame.

Per le diverse banchine, tenuto conto del fatto che per queste direzioni le massime altezze d'onda significative raggiungibili (vedi studio meteomarinario) risultano essere rispettivamente pari a 3.5 m (80° N) e 3.0 m (100°N), si ottiene quanto segue.

- **Banchina Nord**

Per il moto ondoso incidente da 80° N si ottiene un valore medio del coefficiente di agitazione k_{med} pari a circa 0.2; per gli eventi provenienti da 100° N si ottiene un valore k_{med} pari a circa 0.5. Considerando tali coefficienti di agitazione e le massime altezze d'onda significative incidenti, si ottengono i seguenti valori dell'altezza d'onda residua H_r .

$$\text{-Direzione } 80^{\circ}\text{N: } K_{med} = 0.2; H_s = 3.5 \text{ m} \rightarrow H_r = 0.2 \times 3.5 \text{ m} = 0.7 \text{ m};$$

$$\text{-Direzione } 100^{\circ}\text{N: } K_{med} = 0.5; H_s = 3.5 \text{ m} \rightarrow H_r = 0.5 \times 3.0 \text{ m} = 1.5 \text{ m};$$

- **Banchina Ovest**

Per il moto ondoso incidente da 80° N si ottiene un valore medio del coefficiente di agitazione k_{med} pari a circa 0.3; per gli eventi provenienti da 100° N si ottiene un valore k_{med} pari a circa 0.7. Considerando tali coefficienti di agitazione e le massime altezze d'onda significative incidenti, si ottengono i seguenti valori dell'altezza d'onda residua H_r .

$$\text{-Direzione } 80^{\circ}\text{N: } K_{med} = 0.3; H_s = 3.5 \text{ m} \rightarrow H_r = 0.3 \times 3.5 \text{ m} \approx 1.1 \text{ m};$$

$$\text{-Direzione } 100^{\circ}\text{N: } K_{med} = 0.7; H_s = 3.5 \text{ m} \rightarrow H_r = 0.7 \times 3.0 \text{ m} = 2.1 \text{ m};$$

- **Banchina Sud**

Per il moto ondoso incidente da 80° N si ottiene un valore medio del coefficiente di agitazione k_{med} pari a circa 0.35; per gli eventi provenienti da 100° N si ottiene un valore k_{med} pari a circa 0.2. Considerando tali coefficienti di agitazione e le massime altezze d'onda significative incidenti, si ottengono i seguenti valori dell'altezza d'onda residua H_r .

$$\text{-Direzione } 80^{\circ}\text{N: } K_{med} = 0.35; H_s = 3.5 \text{ m} \rightarrow H_r = 0.35 \times 3.5 \text{ m} \approx 1.2 \text{ m};$$

$$\text{-Direzione } 100^{\circ}\text{N: } K_{med} = 0.2; H_s = 3.5 \text{ m} \rightarrow H_r = 0.2 \times 3.0 \text{ m} = 0.6 \text{ m};$$

- **Banchina Est**

Per il moto ondoso incidente da 80° N si ottiene un valore medio del coefficiente di agitazione k_{med} pari a circa 0.3; per gli eventi provenienti da 100° N si ottiene un valore k_{med} pari a circa 0.6. Considerando tali coefficienti di agitazione e le massime altezze d'onda significative incidenti, si ottengono i seguenti valori dell'altezza d'onda residua H_r .

-Direzione 80°N: $K_{med} = 0.3$; $H_s = 3.5$ m $\rightarrow H_r = 0.3 \times 3.5$ m ≈ 1.1 m;

-Direzione 100°N: $K_{med} = 0.6$; $H_s = 3.5$ m $\rightarrow H_r = 0.6 \times 3.0$ m = 0.9 m;

4.1 Limiti di operatività delle banchine

Al fine di poter fornire ulteriori indicazioni sui tempi di inoperosità delle banchine interne al nuovo bacino commerciale, per ognuna di esse è stato definito il limite di accettabilità in relazione al tipo di nave che vi ormeggerà ed al valore dell'altezza d'onda residua, ovvero al valore dell'altezza d'onda incidente.

Si precisa che l'operatività delle navi è funzione delle oscillazioni che le stesse subiscono a causa dell'azione del moto ondoso che le interessa e non direttamente delle oscillazioni della superficie dell'acqua. Infatti i movimenti che il moto ondoso induce sulla nave non risultano di facile definizione in quanto questi sono fortemente dipendenti sia dalle caratteristiche del moto ondoso incidente (lunghezza, altezza ed incidenza dell'onda) sia dalle caratteristiche delle navi (tipologia, lunghezza, stazza ecc.).

Nel presente studio si è ipotizzato che i limiti di operatività che caratterizzano le diverse navi prese in esame siano dipendenti dai livelli di agitazione ondosa residua che si instaurano lungo le banchine portuali.

In particolare, per le navi di progetto definite nel capitolo secondo, con riferimento ai valori riportati in letteratura, sono stati assunti i seguenti limiti di operatività.

- Navi Ro-Ro Pax: 0.5 m per onde di prua; 0.3 per onde trasversali;
- Navi crociera: 0.7 m per onde di prua; 0.5 per onde trasversali;

Sulla base dei valori medi dei coefficienti di agitazione interna ottenuti per le due direzioni prese in considerazione ed in funzione dei limiti sopra definiti, si ottengono i

seguenti limiti di operatività delle banchine in termini di massimi valori dell'altezza d'onda significativa incidente e residua.

Lungo la Banchina Nord, destinata al servizio delle navi da crociera, si è in presenza di un moto ondoso incidente sempre in senso longitudinale sulle navi ormeggiate, pertanto i massimi valori dell'altezza d'onda consentiti nei pressi della banchina risultano essere pari a 0.7 m ovvero valori massimi dell'altezza d'onda incidente pari a:

- Direzione 80°N: $H_{s, \max} = 3.5 \text{ m}$ (infatti $K_{\text{med}} \times H_{s, \max} = 0.2 \times 3.5 \text{ m} = 0.7 \text{ m}$);
- Direzione 100°N: $H_{s, \max} = 1.4 \text{ m}$ (infatti $K_{\text{med}} \times H_{s, \max} = 0.5 \times 1.4 \text{ m} = 0.7 \text{ m}$);

Per quanto riguarda le banchine Ovest, Sud, ed Est, destinate al servizio delle navi traghetto Ro-Ro Pax, la condizioni più gravosa è rappresentata da un moto ondoso incidente in senso trasversale le navi ormeggiate, pertanto i massimi valori dell'altezza d'onda consentiti lungo le tre banchine risultano essere pari a 0.3 m ovvero i seguenti valori massimi dell'altezza d'onda incidente.

Banchina Ovest

- Direzione 80°N: $H_{s, \max} = 1.0 \text{ m}$ (infatti $K_{\text{med}} \times H_{s, \max} = 0.3 \times 1.0 \text{ m} = 0.3 \text{ m}$);
- Direzione 100°N: $H_{s, \max} = 0.4 \text{ m}$ (infatti $K_{\text{med}} \times H_{s, \max} = 0.7 \times 0.4 \text{ m} = 0.3 \text{ m}$).

Banchina Sud

- Direzione 80°N: $H_{s, \max} = 0.9 \text{ m}$ (infatti $K_{\text{med}} \times H_{s, \max} = 0.3 \times 0.9 \text{ m} = 0.3 \text{ m}$);
- Direzione 100°N: $H_{s, \max} = 1.5 \text{ m}$ (infatti $K_{\text{med}} \times H_{s, \max} = 0.2 \times 1.5 \text{ m} = 0.3 \text{ m}$).

Banchina Est

- Direzione 80°N: $H_{s, \max} = 1.0 \text{ m}$ (infatti $K_{\text{med}} \times H_{s, \max} = 0.3 \times 1.0 \text{ m} = 0.3 \text{ m}$);
- Direzione 100°N: $H_{s, \max} = 0.5 \text{ m}$ (infatti $K_{\text{med}} \times H_{s, \max} = 0.6 \times 0.5 \text{ m} = 0.3 \text{ m}$).

Definiti i limiti di operatività delle diverse banchine ed in seguito all'analisi dei risultati ottenuti per il clima d'onda annuale, ricostruito in prossimità del porto di Pescara in termini di frequenze di accadimento (vedi studio meteomarinario), è stato possibile determinare i giorni/anno di inoperatività ("Down Time") delle banchine dovuti al moto ondoso incidente le opere.

In particolare si ottiene quanto segue.

Banchina Nord

Con eventi provenienti dalla direzione 80°N, associati a valori dell'altezza d'onda significativa mai superiori a 3.5 m, la banchina risulta operativa tutti i giorni dell'anno (il valore massimo dell'altezza d'onda consentito ai fini dell'operatività è pari proprio a 3.5 m).

Con eventi provenienti dalla direzione 100°N la banchina risulta non operativa per circa 5 ore l'anno in quanto al valore massimo dell'altezza d'onda consentito ai fini dell'operatività, $H_{s,max}$ pari a 1.4 m, è associata una frequenza di superamento pari allo 0.05%.

Banchina Ovest

Con eventi provenienti dalla direzione 80°N la banchina risulta non operativa per circa 3 giorni l'anno in quanto al valore massimo dell'altezza d'onda consentito ai fini dell'operatività, $H_{s,max}$ pari a 1.0 m, è associata una frequenza di superamento annuale pari a circa lo 0.88%.

Con eventi provenienti dalla direzione 100°N la banchina risulta non operativa per circa 11 giorni l'anno in quanto al valore massimo dell'altezza d'onda consentito ai fini dell'operatività, $H_{s,max}$ pari a 0.4 m, è associata una frequenza di superamento annuale pari a circa il 3%.

Banchina Sud

Con eventi provenienti dalla direzione 80°N la banchina risulta non operativa per circa 3 giorni l'anno in quanto al valore massimo dell'altezza d'onda consentito ai fini dell'operatività, $H_{s,max}$ pari a 0.9 m, è associata una frequenza di superamento annuale pari a circa lo 0.88%.

Con eventi provenienti dalla direzione 100°N la banchina risulta non operativa per circa 5 ore l'anno in quanto al valore massimo dell'altezza d'onda consentito ai fini dell'operatività, $H_{s,max}$ pari a 1.5 m, è associata una frequenza di superamento annuale pari a circa lo 0.05%.

Banchina Est

Con eventi provenienti dalla direzione 80°N la banchina risulta non operativa per circa 3 giorni l'anno in quanto al valore massimo dell'altezza d'onda consentito ai fini

dell'operatività, $H_{s,max}$ pari a 1.0 m, è associata una frequenza di superamento annuale pari a circa lo 0.88%.

Con eventi provenienti dalla direzione 100°N la banchina risulta non operativa per circa 5 giorni l'anno in quanto al valore massimo dell'altezza d'onda consentito ai fini dell'operatività, $H_{s,max}$ pari a 0.5 m, è associata una frequenza di superamento annuale pari a circa l' 1.3%.

4.2 Conclusioni

Dall'analisi dei risultati ottenuti e sopra riportati si osserva che i valori massimi dei livelli di agitazione ondosa ($H_r = 2.1$ m) si riscontrano lungo la Banchina Ovest, destinata a servizio delle navi Ro-Ro Pax, e vengono generati da eventi di moto ondoso provenienti dalla direzione 100°N. Tale banchina risulta non operativa per un tempo abbastanza ridotto, circa 11 giorni l'anno e cioè il 3% del tempo totale, e comunque accettabile vista la destinazione d'uso e la tipologia di navi che vi attraccheranno.

Per quanto riguarda la Banchina Nord si riscontrano comunque valori dei livelli di agitazione ondosa residua ragguardevoli ($H_r = 1.5$ m), ciononostante, vista la disposizione dell'ormeggio su tale banchina (longitudinalmente all'azione del moto ondoso residuo) e la capacità che hanno queste navi di sopportare in sicurezza i livelli di agitazione raggiunti, si riscontrano tempi di inoperatività marginali (circa 5 ore l'anno).

Per quanto riguarda la Banchina Sud e la Banchina Est, destinate anche queste al traffico Ro-Ro Pax, i livelli di agitazione ondosa residua che si raggiungono, in seguito all'azione del moto ondoso incidente e proveniente dal settore di levante, comportano tempi di inoperatività mediamente non superiori ai 5 giorni l'anno, pienamente accettabili viste le finalità e la destinazione delle banchine in esame.

Occorre comunque rilevare che, anche se in condizioni di inoperatività, le navi non saranno costrette ad abbandonare gli ormeggi delle banchine Nord, Sud ed Est, in quanto l'agitazione massima non è tale da ingenerare danni alle strutture e/o alle navi stesse, a condizione di rinforzare opportunamente gli ormeggi.