



REGIONE AUTONOMA
FRIULI VENEZIA GIULIA



Autorità di Sistema Portuale
del Mare Adriatico Orientale

Piano Regolatore Portuale del Porto di Monfalcone Variante Localizzata

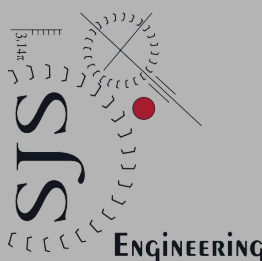
Il Responsabile del
procedimento

Dott. Marco Padrini

Il Presidente dell'Autorità di
Sistema Portuale

Dott. Zeno D'Agostino

Progettisti



Archest

Ditolo ~~fab~~ ~~titolo~~

Codice Elaborato

STUDIO DELLA NAVIGABILITA'

Elaborato

P.5.4

Revisione	Data	Descrizione
1	Novembre 2019	Emissione per Adozione
0	Settembre 2019	Prima emissione

INDICE

1	PREMESSA.....	2
2	CANALE DI ACCESSO AL PORTO.....	3
	2.1 Profondità del canale di accesso.....	3
	2.2 Larghezza del canale di accesso.....	7
3	CERCHIO DI EVOLUZIONE	12
4	AREE DISPONIBILI PER LE MANOVRE E L'ORMEGGIO	13
5	CONSIDERAZIONI SULLE NAVI DA CROCIERA.....	15

1 PREMESSA

Lo scrivente raggruppamento temporaneo (RT) costituito da Modimar s.r.l. (mandatario), SJS Engineering s.r.l. (mandante) e Archest s.r.l. (mandante) è risultato aggiudicatario del servizio tecnico di pianificazione, progettazione e coordinamento tecnico scientifico del Piano Regolatore Portuale (PRP di seguito) del porto di Monfalcone, a seguito di gara indetta dalla Regione Friuli Venezia Giulia – Direzione Centrale Infrastrutture e Territorio (RFVG).

Per i cogenti motivi indicati nella Premessa del documento “P.2 Relazione generale”, la RFVG, di concerto con tutti i portatori di interesse del Porto, ha scelto di perseguire lo strumento di “Variante Localizzata al PRP” del porto di Monfalcone, quale unico ed efficace strumento per attuare rapidamente un intervento decisivo, fondamentale ed indifferibile per lo sviluppo del porto di Monfalcone.

Il presente Studio Specialistico “P.5.4 Studio della navigabilità” accompagna il progetto di “Piano Regolatore Portuale di Monfalcone - Variante Localizzata”.

Nella presente relazione sono stati affrontati i temi del massimo pescaggio ammissibile per l'ingresso in porto e delle caratteristiche del canale di accesso. A tal fine si è fatto riferimento ai metodi di valutazione suggeriti dall'AIPCN (Associazione Internazionale Permanente dei Congressi di Navigazione) nel report “Approach Channels. A Guide for Design” del 1997 e nel report “Harbour Approach Channels Design Guidelines” del 2014.

Un ulteriore tema affrontato è stato quello delle manovre delle navi in funzione delle dimensioni del cerchio di evoluzione facendo riferimento alla letteratura in materia.

L'obiettivo del presente studio è quello di fornire delle indicazioni di base utili per la definizione dei limiti effettivi di operatività del porto da parte dell'Autorità Marittima.

2 CANALE DI ACCESSO AL PORTO

2.1 Profondità del canale di accesso

La profondità del canale di accesso rispetto al livello medio marino è determinata dai seguenti contributi (v. Figura 1):

- fattori dei livelli idrici: livello di bassa marea;
- fattori relativi alle navi: pescaggio a pieno carico della nave di progetto, incremento in navigazione del pescaggio della poppa denominato "squat", oscillazioni della nave, moto ondoso, franco di sicurezza;
- fattori relativi al fondale: incertezze sulla profondità del canale, riduzione della profondità per sedimentazione, tolleranza di dragaggio.

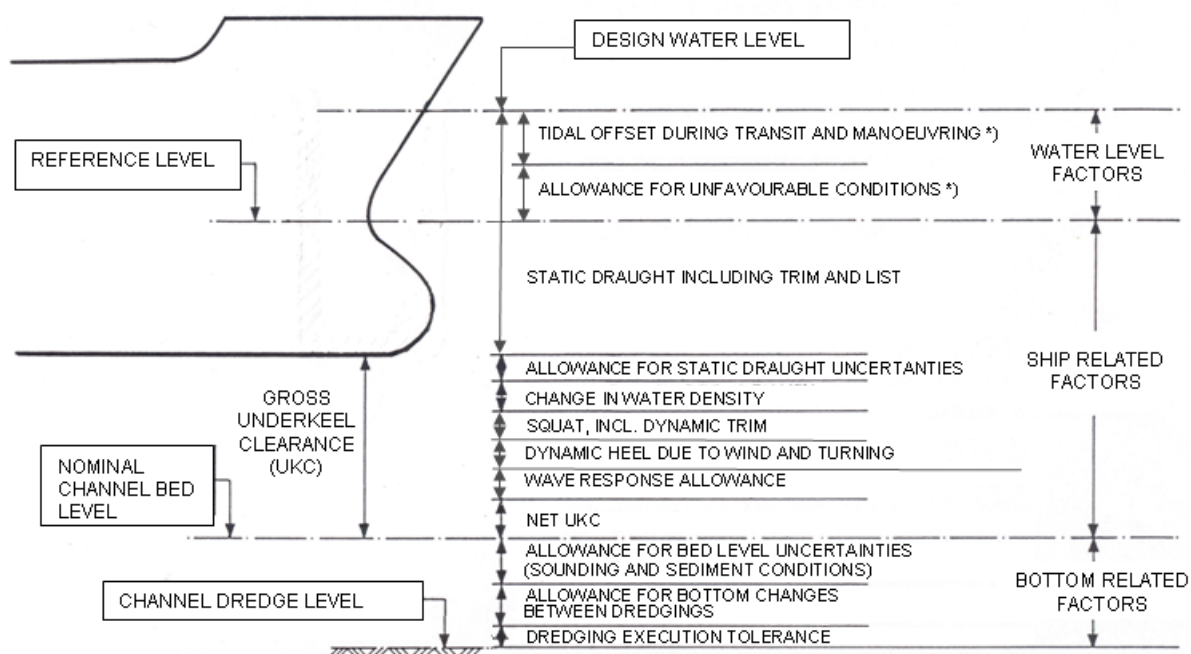
Per quanto riguarda i fattori dei livelli idrici per la bassa marea può essere considerato un abbassamento del livello medio di circa 0.4 m (v. elaborato "P5.1.1 Studio meteomarinario"). Per quanto riguarda i fattori relativi alle navi (v. Tabella 1), indicando con T il pescaggio, risultano i seguenti contributi:

- per il canale di accesso esterno contributo pari a $1.2T+0.5$ m,
- per il canale di accesso e area di evoluzione interni contributo pari a $1.1T+0.5$ m.

I fattori relativi al fondale possono essere considerati pari a 0.2 m complessivamente.

Tenuto conto del peso dei vari fattori, il pescaggio massimo delle navi risulta condizionato dalla profondità del canale di accesso esterno. Nella Tabella 2 sono riportati i valori massimi ammissibili del pescaggio delle navi in funzione della profondità del canale di accesso.

Tenuto conto dei limiti della Tabella 2, sono state individuate le dimensioni massime di alcune tipologie di navi caratterizzate da un pescaggio a pieno carico pari a quello massimo ammissibile (v. Tabella 3-Tabella 5).



*) values can be positive or negative

Figura 1 - Schema di riferimento per determinare la profondità del canale di accesso

Description	Vessel Speed	Wave Conditions	Channel Bottom	Inner Channel	Outer Channel	
Ship Related Factors F_s						
Depth h	≤ 10 kts	None		$1.10 T$		
	10 - 15 kts			$1.12 T$		
	> 15 kts			$1.15 T$		
	All	Low swell ($H_s < 1$ m)			$1.15 T$ to $1.2 T$	
		Moderate swell ($1 \text{ m} < H_s < 2$ m)			$1.2 T$ to $1.3 T$	
		Heavy swell ($H_s > 2$ m)			$1.3 T$ to $1.4 T$	
	Add for Channel Bottom Type					
	All	All	Mud	None	None	
			Sand/clay	0.4 m	0.5 m	
Rock/coral			0.6 m	1.0 m		
Air Draught Clearance (ADC)						
ADC	All	All		$0.05 H_{st}$	$0.05 H_{st} + 0.4 T$	
Notes:						
1. For Ship Related Factors: Assumes $T > 10$ m. If $T < 10$ m, use value for $T = 10$ m 2. Swell means waves with peak periods T_p greater than 10 s 3. For Outer Channel swell values, use lower value for smaller swell wave periods and higher value for larger swell periods 4. Value of significant wave height H_s is dependent on required operation, design ship type, level of accessibility, wave period and relative wave direction 5. H_{st} is the distance from the sea surface to the top of the ship 6. Seawater density assumed for T . Additional adjustments required if fresh water.						

Tabella 1 – Tabella di riferimento per i fattori relativi alle navi (da " Harbour Approach Channels Design Guidelines")

	stato attuale	prima fase di attuazione della variante localizzata	PRP
prof. canale accesso esterno h (m)	12.0	13.5	14.5
pescaggio massimo T (m)	9.1	10.3	11.2

Tabella 2 – Pescaggio massimo delle navi in funzione della profondità del canale di accesso

Tipologia	LOA (m)	Larghezza (m)
General Cargo	150	22.5
Bulk Carrier	160	23.5
RoRo	197	28.6
Car Carrier	190	32.2
Tanker	160	22.0

Tabella 3 – Dimensioni massime delle navi compatibili con la profondità del canale di accesso allo stato attuale (h=12.0 m)

Tipologia	LOA (m)	Larghezza (m)
General Cargo	170	25.5
Bulk Carrier	180	26.0
RoRo	230	32.0
Car Carrier	200	32.2
Tanker	180	26.0

Tabella 4 – Dimensioni massime delle navi compatibili con la profondità del canale di accesso prevista nella prima fase di attuazione della variante localizzata (h=13.5 m)

Tipologia	LOA (m)	Larghezza (m)
General Cargo	185	27.5
Bulk Carrier	190	28.0
RoRo	255	32.2
Car Carrier	225	32.2
Tanker	195	29.0

Tabella 5 – Dimensioni massime delle navi compatibili con la profondità del canale di accesso prevista dalla variante localizzata e dal PRP vigente (h=14.5 m)

2.2 Larghezza del canale di accesso

La larghezza di un canale di accesso a doppio senso di navigazione è data dalla somma di tre elementi che dipendono dalla larghezza delle navi B_1 e B_2 che lo percorrono come illustrato dallo schema di riferimento della Figura 2:

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

Nel caso di un canale a senso alternato è ancora valido lo schema di riferimento della Figura 2. Tuttavia, la larghezza della corsia di manovra è in questo caso riferita ad una sola nave e la distanza minima di passaggio non è presa in considerazione.

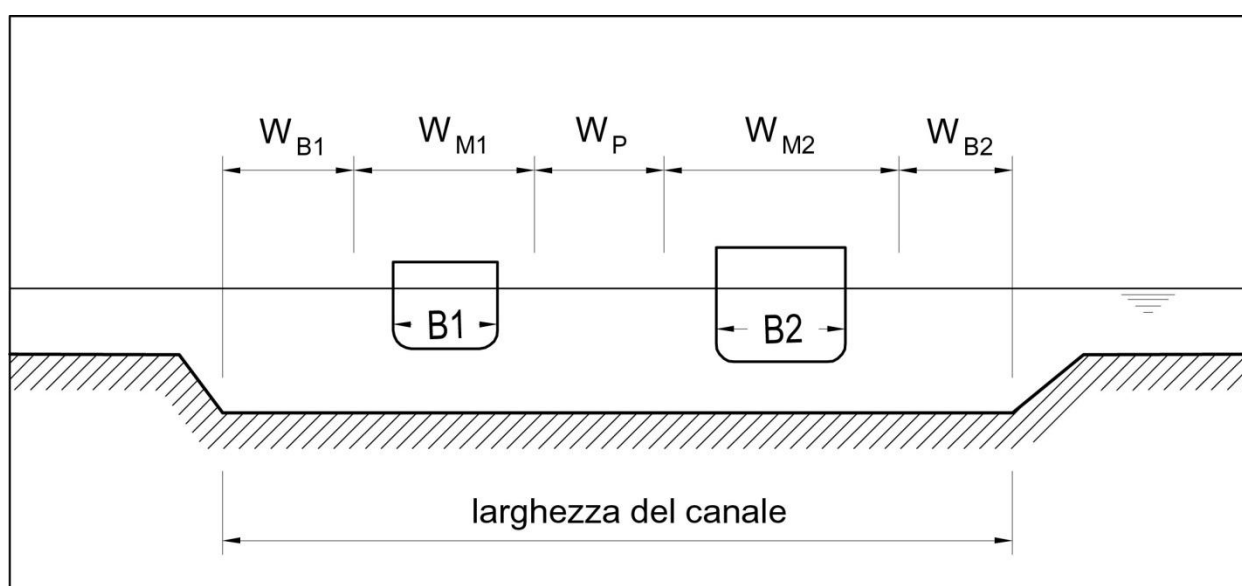


Figura 2 - Schema di riferimento per la larghezza del canale di accesso

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 (navi traghetto), a 1.5 nel caso di nave con manovrabilità media (navi portacontainer, car carrier, RoRo), fino a 1.8 B nel caso di bassa manovrabilità (navi tanker e bulk carrier). La larghezza di base deve essere aumentata facendo riferimento agli incrementi, anch'essi funzione della larghezza della nave B, riportati nella Tabella 6.

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 (v. Tabella 8).

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 (v. Tabella 7).

Con riferimento alla Tabella 6, tutte le analisi eseguite hanno considerato una velocità di transito delle navi lungo il canale compresa tra 5 e 8 nodi e un livello buono di ausilio alla navigazione (*aid to navigation*).

Nel seguito sono riportate alcune analisi basate sulle indicazioni dell'AIPCN finalizzate a individuare dei limiti di operatività del canale di accesso caratterizzato da una profondità di 14.5 m e da una larghezza di 150.0 m.

La prima analisi eseguita ha riguardato il caso di una nave a bassa manovrabilità, come una bulk carrier, di larghezza pari a 32.2 m che proceda lungo il canale con le seguenti condizioni climatiche non favorevoli:

- velocità del vento > 33 nodi,
- altezza d'onda significativa > 1 m.

In questo caso la larghezza minima del canale a senso alternato di marcia risulta pari a circa 147 m, ovvero poco inferiore ai 150 m previsti dal PRP vigente e dalla variante localizzata.

Si osserva che, nel caso di condizioni climatiche non favorevoli come quelle indicate, l'utilizzo del canale a doppio senso di marcia per due navi a bassa manovrabilità è da escludere se non per navi di basso cabotaggio (DWT < 5000 t).

Nel caso di condizioni climatiche favorevoli (velocità del vento < 15 nodi e altezza d'onda significativa < 1 m) l'utilizzo del canale a doppio senso di marcia è condizionato dalla manovrabilità delle navi e dalla loro larghezza. Questo aspetto rende piuttosto complessa la gestione del canale a doppio senso di navigazione. A titolo di esempio dalla Figura 3 alla Figura 5 sono riportati dei grafici in cui alle ordinate è indicata la larghezza massima delle navi compatibile con quella riportata alle ascisse per le varie tipologie di manovrabilità delle navi.

Width W_i	Vessel Speed	Outer Channel (open water)		Inner Channel (protected water)		
(a) Vessel speed V_s (kts, with respect to the water) $V_s \geq 12$ kts $8 \text{ kts} \leq V_s < 12$ kts $5 \text{ kts} \leq V_s < 8$ kts	fast			0.1 B		
	mod			0.0		
	slow			0.0		
(b) Prevailing cross wind V_{cw} (kts) - mild $V_{cw} < 15$ kts ($<$ Beaufort 4) - moderate $15 \text{ kts} \leq V_{cw} < 33$ kts (Beaufort 4 - Beaufort 7) - strong $33 \text{ kts} \leq V_{cw} < 48$ kts (Beaufort 7 - Beaufort 9)	fast			0.1 B		
	mod			0.2 B		
	slow			0.3 B		
	fast			0.3 B		
	mod			0.4 B		
	slow			0.6 B		
	fast			0.5 B		
	mod			0.7 B		
	slow			1.1 B		
(c) Prevailing cross-current V_{cc} (kts) - negligible $V_{cc} < 0.2$ kts - low $0.2 \text{ kts} \leq V_{cc} < 0.5$ kts - moderate $0.5 \text{ kts} \leq V_{cc} < 1.5$ kts - strong $1.5 \text{ kts} \leq V_{cc} < 2.0$ kts	all	0.0		0.0		
	fast	0.2 B		0.1 B		
	mod	0.25 B		0.2 B		
	slow	0.3 B		0.3 B		
	fast	0.5 B		0.4 B		
	mod	0.7 B		0.6 B		
	slow	1.0 B		0.8 B		
	fast	1.0 B		-		
	mod	1.2 B		-		
	slow	1.6 B		-		
	(d) Prevailing longitudinal current V_{lc} (kts) - low $V_{lc} < 1.5$ kts - moderate $1.5 \text{ kts} \leq V_{lc} < 3$ kts - strong $V_{lc} \geq 3$ kts	all	0.0		0.0	
		fast	0.0		0.0	
mod		0.1 B		0.1 B		
slow		0.2 B		0.2 B		
fast		0.1 B		0.1 B		
mod		0.2 B		0.2 B		
slow	0.4 B		0.4 B			
(e) Beam and stern quartering wave height H_s (m) - $H_s \leq 1$ m - $1 \text{ m} < H_s < 3$ m - $H_s \geq 3$ m	all	0.0		0.0		
	all	~0.5 B		-		
	all	~1.0 B		-		
	all					
(f) Aids to Navigation (AtoN) - excellent - good - moderate				0.0		
				0.2B		
				0.4 B		
(g) Bottom surface - if depth $h \geq 1.5 T$ - if depth $h < 1.5 T$ then - smooth and soft - rough and hard				0.0		
				0.1 B		
				0.2 B		
(h) Depth of waterway h		$h \geq 1.5 T$	0.0 B	$h \geq 1.5 T$	0.0 B	
		$1.5 T > h \geq 1.25 T$	0.1 B	$1.5 T > h \geq 1.15 T$	0.2 B	
		$h < 1.25 T$	0.2 B	$h < 1.15 T$	0.4 B	
(i) High cargo hazards		See explanation in box(i) overleaf				

Tabella 6 –Fattori di incremento della larghezza della corsia di manovra W_M (da " Harbour Approach Channels Design Guidelines")

Width for bank clearance (W_{BR} and/or W_{BG})	Vessel Speed	Outer channel (open water)	Inner channel (protected water)
Gentle underwater channel slope (1:10 or less steep)	fast	0.2 B	0.2 B
	moderate	0.1 B	0.1 B
	slow	0.0 B	0.0 B
Sloping channel edges and shoals	fast	0.7 B	0.7 B
	moderate	0.5 B	0.5 B
	slow	0.3 B	0.3 B
Steep and hard embankments, structures	fast	1.3 B	1.3 B
	moderate	1.0 B	1.0 B
	slow	0.5 B	0.5 B

Tabella 7 – Fattori di incremento della larghezza del franco di sponda W_B (da " Harbour Approach Channels Design Guidelines")

Width for passing distance W_p	Outer Channel (open water)	Inner Channel (protected water)
Vessel speed V_s (knots)		
- fast: $V_s \geq 12$	2.0 B	1.8 B
- moderate: $8 \leq V_s < 12$	1.6 B	1.4 B
- slow: $5 \leq V_s < 8$	1.2 B	1.0 B

Tabella 8 – Fattori di incremento della distanza minima di passaggio tra le navi W_p (da " Harbour Approach Channels Design Guidelines")

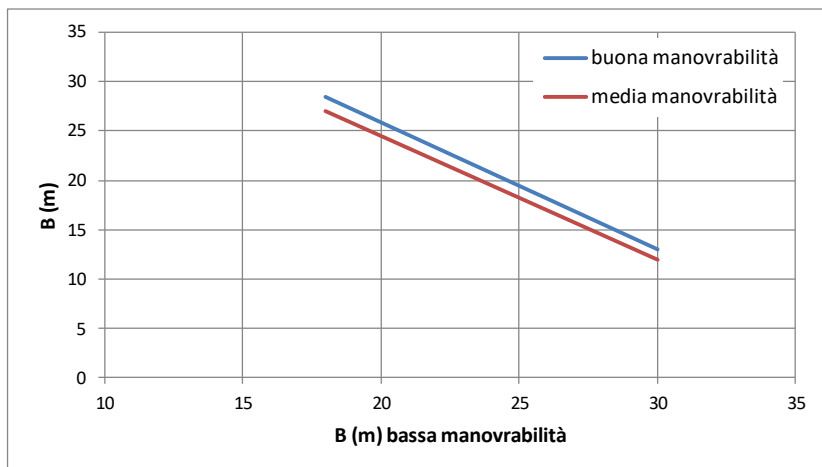


Figura 3 - Larghezze delle navi con buona e media manovrabilità compatibili con le navi a bassa manovrabilità per il transito a doppio senso di navigazione

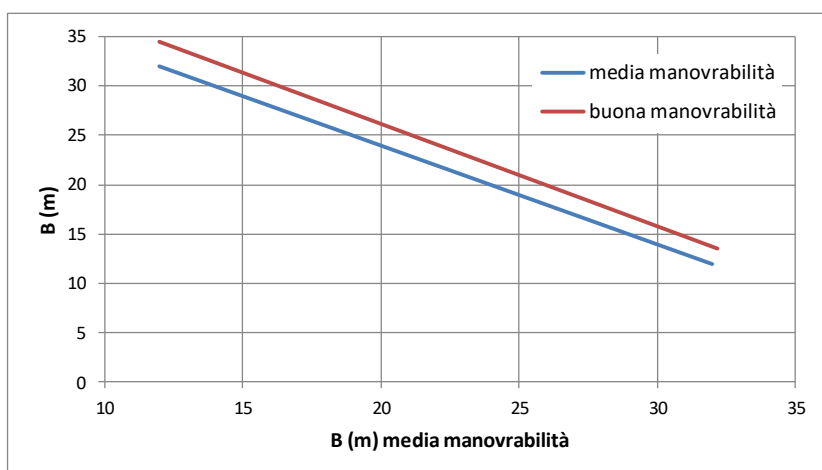


Figura 4 - Larghezze delle navi con buona e media manovrabilità compatibili con le navi a media manovrabilità per il transito a doppio senso di navigazione



Figura 5 - Larghezze delle navi con buona manovrabilità compatibili con le navi a buona manovrabilità per il transito a doppio senso di navigazione

3 CERCHIO DI EVOLUZIONE

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

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 nel 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 $D = 1.2 L$.

Nel caso in esame il cerchio di evoluzione è caratterizzato da un diametro pari a circa 500 m, pertanto sono possibili le seguenti manovre di evoluzione:

- manovra in condizioni sfavorevoli senza assistenza dei rimorchiatori e senza l'utilizzo dei propulsori laterali per navi di lunghezza fino 125 m,
- manovra in condizioni favorevoli senza assistenza dei rimorchiatori e senza l'utilizzo dei propulsori laterali per navi di lunghezza fino 165 m,
- manovra assistita dai rimorchiatori e/o con l'utilizzo dei propulsori laterali per navi di lunghezza fino 250-330 m.

4 Aree disponibili per le manovre e l'ormeggio

L'area disponibile per il transito e le manovre delle navi è rappresentata nella Figura 6. Il cerchio di evoluzione è compreso tra il limite dell'area dragata in prossimità della diga foranea e una fascia di sicurezza di larghezza pari a 50 m ove è previsto l'ormeggio nelle navi in banchina.

Si osserva che l'ultimo tratto (di circa 150 m) dell'area del terminal Multipurpose non è destinato all'ormeggio delle navi. Pertanto la lunghezza della banchina di tale area è di circa 760 m.

Per quanto riguarda le imbarcazioni da diporto, l'ingresso e l'uscita dall'area portuale sarà eseguita dall'imboccatura secondaria. Il transito nell'area portuale potrà avvenire lungo lo spazio compreso tra la diga foranea e l'area dragata. Tale area è caratterizzata da una profondità di circa 5 m.

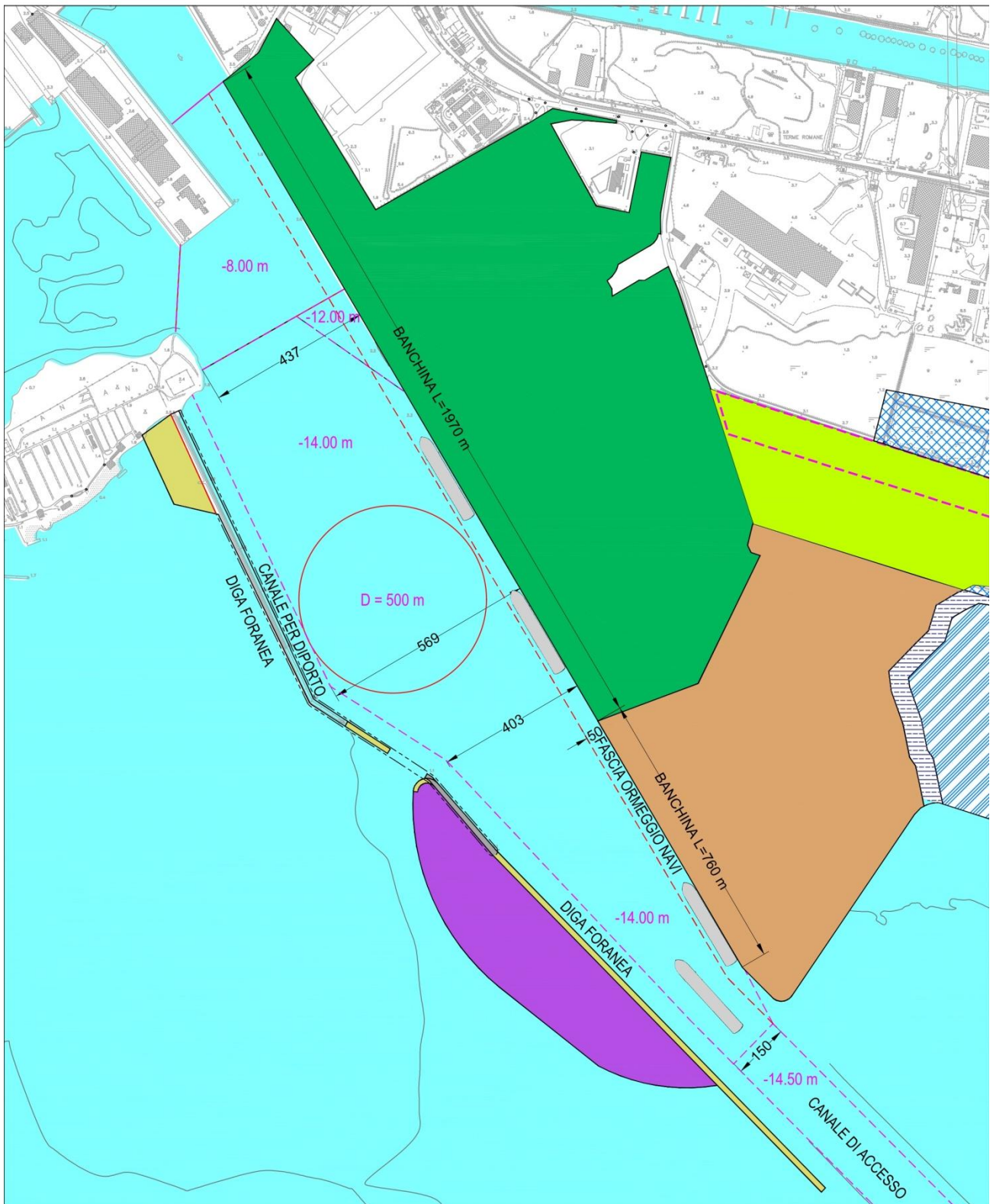


Figura 6 - Aree disponibili per le manovre e l'ormeggio

5 CONSIDERAZIONI SULLE NAVI DA CROCIERA

Riguardo alle navi da crociera risulta una tendenza da parte degli armatori a immettere sul mercato navi sempre più grandi e in grado di ospitare sempre più passeggeri. A titolo di esempio si osserva che, tra le navi attualmente sul mercato, la nave da crociera di maggiori dimensioni è la Queen Mary 2 (lunghezza fuori tutto pari a 345 m) mentre le rimanenti sono caratterizzate da lunghezze generalmente inferiori a 300 m.

Nonostante le dimensioni sempre maggiori, il pescaggio delle navi da crociera resta comunque limitato e non superiore ai 9.0 m. Fanno eccezione alcune navi come la Queen Mary 2 (pescaggio 9.9 m) e alcune navi della flotta della Royal Caribbean che operano nei Caraibi (pescaggio 9.3 m).

Pertanto, le quote dei fondali del porto di Monfalcone non costituiscono un limite per l'accesso delle navi da crociera sia per lo stato attuale sia per le previsioni di variante.

Una reale limitazione è indotta invece dagli spazi disponibili per le manovre di evoluzione delle navi e in particolare dal diametro del cerchio di evoluzione. Tenendo conto che il cerchio di evoluzione è caratterizzato da un diametro pari a circa 500 m, sono possibili le seguenti manovre di evoluzione:

- manovra in condizioni sfavorevoli senza assistenza dei rimorchiatori e senza l'utilizzo dei propulsori laterali per navi di lunghezza fino 125 m,
- manovra in condizioni favorevoli senza assistenza dei rimorchiatori e senza l'utilizzo dei propulsori laterali per navi di lunghezza fino 165 m,
- manovra assistita dai rimorchiatori e/o con l'utilizzo dei propulsori laterali per navi di lunghezza fino 250 m¹.

¹ Per le navi da crociera si è assunto il valore minimo di riferimento per tener conto dell'azione del vento alla quale le navi da crociera sono particolarmente sensibili, a causa nelle notevoli altezze che le caratterizzano.