

Figura 8. Caratteristiche delle navi, lunghezza  $L_{oa}$  e larghezza  $B$  in funzione del pescaggio massimo (Clarkson's Register 2005).

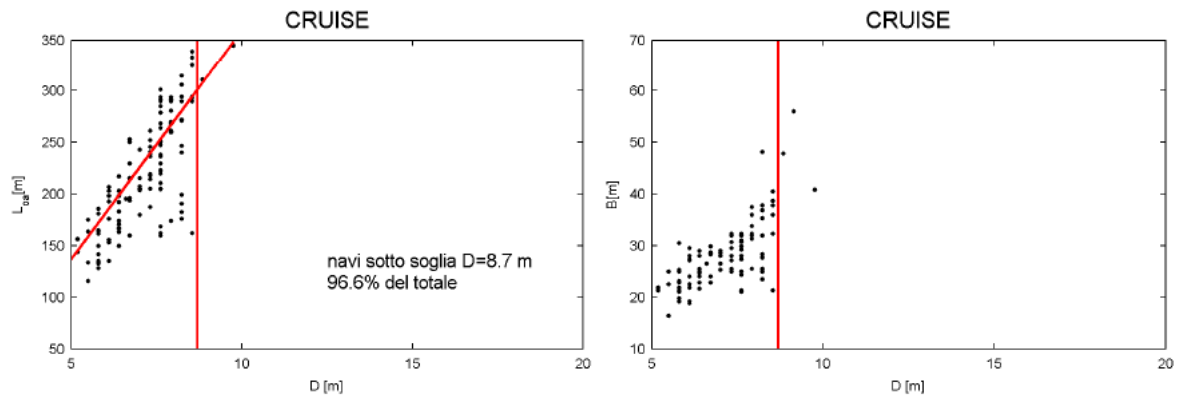


Figura 9. Caratteristiche delle Cruise Ship in funzione del pescaggio massimo.

Tabella 8. Flotta di progetto.

<i>Nave</i>	<i>Bacino</i>	<i>Prof. bacino d (m)</i>	<i>Max Draft D (m)</i>	<i>Max Loa (m)</i>	<i>Max B (m)</i>	<i>DWT (t)</i>	<i>d/D (m)</i>	<i>UKC Canale (m)</i>	<i>UKC Bacino (m)</i>
container	<b>Bacino interno</b> container-rinfuse	13	11.8	250	32	40000	1.10	2.2	1.2
bulk	<b>Bacino interno</b> container-rinfuse	13	11.8	200	32	55000	1.10	2.2	1.2
bulk	<b>Bacino esterno</b> Petroli-rinfuse	11	9.6	170	25	22800	1.15	4.4	1.4
tanker	<b>Bacino esterno</b> Petroli-rinfuse	11	9.6	160	25	35000	1.25	4.4	1.4
ro-ro	<b>Bacino interno</b> ro-ro crociere	10	8.7	185	32	16000	1.10	5.3	1.3
cruise	<b>Bacino interno</b> ro-ro crociere	10	8.7	280	32	GT 115000	1.10	5.3	1.3

## **4 Verifica dello spazio di arresto e della geometria delle aree di evoluzione e dei bacini**

In generale una nave non percorre una rotta perfettamente rettilinea perché è soggetta ad un moto di deriva che tende a deviare la sua traiettoria dalla rotta ideale. Il moto di deriva dipende da molteplici fattori dovuti principalmente alle variazioni delle forze esterne agenti sull'opera viva (dovute all'azione della corrente e del moto ondoso) e sull'opera morta della nave (dovuta all'azione del vento). Tali variazioni costringono il pilota a modificare costantemente le condizioni di assetto della nave (agendo sul timone e sulla propulsione) per compensare il moto di deriva imposto dalle forze esterne. La risultante tra le forze esterne e le variazioni di assetto imposte dal pilota determina uno scostamento tra la traiettoria seguita della nave e la rotta teorica rappresentata dall'asse del canale di accesso (percorso ideale). Di conseguenza lo spazio fisico occupato dalla nave risulta generalmente superiore alla sua larghezza, ovvero allo spazio che occuperebbe se seguisse esattamente la rotta ideale coincidente con l'asse del canale di navigazione.

Con maggior dettaglio, l'effettivo percorso di una nave lungo una rotta ideale dipende dai seguenti fattori:

- caratteristiche della corrente (intensità e direzione rispetto all'asse del canale) e gradiente della stessa;
- caratteristiche del vento (intensità e direzione rispetto all'asse del canale);
- velocità della nave;
- caratteristiche del moto ondoso (altezza significativa e direzione di propagazione rispetto all'asse del canale);
- risposta della nave all'azione del timone;
- caratteristiche idrodinamiche e aerodinamiche della nave;
- batimetria del fondale;
- "navigation aids" (aiuti alla navigazione), ovvero qualità delle informazioni a disposizione del pilota sull'assetto della nave e sulle condizioni di navigazione (posizione istantanea della nave rispetto alle opere foranee, velocità della nave relativa ed assoluta, intensità e direzione della corrente presente lungo il canale di navigazione, intensità e direzione del vento);
- qualità dei segnalamenti marittimi;
- risposta del pilota.

Per quanto riguarda la risposta del pilota, si evidenzia che per essa si intende la risposta umana (emotiva) del pilota la quale è di natura stocastica ed è quella che può condizionare maggiormente l'effettiva rotta della nave. Non solo due diversi piloti non reagiscono mai in modo identico se sottoposti ad una determinata condizione di navigazione, ma anche la stessa persona spesso può reagire diversamente anche se opera con le stesse condizioni ambientali ma in tempi diversi, in cui può essere differente il suo stato psicofisico che può condizionare la sua risposta alla variabilità delle condizioni ambientali.

Sicuramente è buona norma in condizioni ambientali sfavorevoli ed in acque ristrette, quali ad esempio la presenza di rilevanti correnti durante le manovre di ingresso di una nave in un porto, effettuare la misura dei parametri meteo marini presenti lungo il canale di navigazione in tempo reale e renderli disponibili al pilota durante la manovra in modo tale che il pilota possa anticipare eventuali correzioni di rotta. La tecnologia attuale consente di prevedere a costi contenuti questo tipo di strumentazione che, a titolo di esempio, è disponibile nel Porto di Ravenna.

In fase di progettazione delle opere esterne portuali è necessario verificare gli spazi di manovra previsti attenendosi alle raccomandazioni internazionali. La verifica finale, se necessaria, può essere condotta mediante l'esecuzione di prove di navigabilità con simulatori di manovra in tempo reale. I simulatori di manovra vengono inoltre impiegati anche per l'addestramento dei piloti del porto.

Un ulteriore aspetto che deve essere affrontato in progettazione ed eventualmente verificato con i simulatori di manovra, è l'identificazione delle condizioni limiti dal punto di vista meteomarinico che possono essere accettate per effettuare le manovre di ingresso nel porto in sicurezza. L'identificazione di tali condizioni in relazione alle caratteristiche medie statistiche meteomarine del paraggio, consente di definire il tempo medio annuale di operatività del porto.

Quest'ultimo argomento è trattato in un altro capitolo del presente rapporto.

In questo capitolo vengono presentate le analisi che sono state effettuate per verificare, sulla base delle flotta di progetto e le condizioni meteo marine previste, lo spazio di arresto, la larghezza del canale di accesso e dell'imboccatura portuale, le profondità dei canali e dei bacini e la geometria delle aree di evoluzione.

Preliminarmente alle verifiche effettuate viene descritta la manovra di ingresso al porto.

## 4.1 La manovra d' ingresso

La manovra di ingresso di una nave in un porto è sicuramente la più pericolosa in quanto, a differenza di quella di uscita, vi è la necessità di arrestare la nave.

La manovra può essere effettuata con o senza l'ausilio dei rimorchiatori a seconda delle capacità evolutive delle navi e delle condizioni meteo marine. La funzione dei rimorchiatori è quella di evitare che la nave fuoriesca dalle aree previste per l'evoluzione durante la manovra di arresto e di condurre la nave all'ormeggio.

Nel caso di Ortona l'eventuale uso dei rimorchiatori richiede che questi vengano collegati alla nave all'esterno del porto dove comunque deve avvenire la salita del pilota sulla nave. Infatti con riferimento alla fig. 10 lo spazio disponibile nel canale di accesso risulta di 1,2 km, inferiore a quello necessario per il collegamento dei rimorchiatori alla nave che risulta di circa 1,8÷2,5 km. Questo spazio si ottiene tenendo conto che in aree ristrette per poter essere garantita una sufficiente capacità di manovra, la nave deve mantenere una velocità minima di circa 3÷4 kn e che il collegamento con i rimorchiatori richiede circa 15/20 minuti.

Con riferimento alla Fig. 10, il punto A rappresenta indicativamente la zona dove, se richiesto, il pilota sale sulla nave e dove, se necessario, inizia la manovra di collegamento tra i rimorchiatori e la nave. Si può assumere che per effettuare queste operazioni in sicurezza, sia necessario che l'altezza d'onda significativa all'esterno del porto risulti non superiore a circa 1,5÷2,0 m. Sempre con riferimento alla stessa figura, il punto B rappresenta il punto dove, passata l'imboccatura portuale, può iniziare la manovra di arresto che si conclude nel punto C posto all'interno del cerchio di evoluzione. La distanza BC rappresenta lo spazio disponibile per l'arresto. Affinché i rimorchiatori durante la manovra di arresto possano esplicare il tiro massimo, risulta necessario che l'altezza d'onda significativa risulti inferiore a circa 1,0 m.

Per quanto riguarda la distanza di arresto della nave essa dipende oltre che dal rapporto tra il suo dislocamento e la potenza esplicabile dai motori durante la manovra, dalla sua velocità iniziale. Con riferimento alla fig. 10, per Ortona tale velocità è funzione della velocità effettiva ( $V_{eff}$ ) con la quale la nave transita per l'imboccatura portuale che a sua volta dipende:

1. della velocità minima ( $V_{min}$ ) necessaria alla nave per garantire la capacità di mantenere la rotta desiderata all'esterno del porto (generalmente dell'ordine di 3÷4 kn);
2. delle condizioni meteomarine (corrente e vento) presenti all'esterno del porto che possono provocare la deriva o scarroccio ("drift") della nave. Lo

scarroccio viene compensato dal pilota agendo sia sull'angolo di barra del timone sia sulla velocità della stessa nave. Generalmente il pilota agisce prima sull'angolo di barra. Con riferimento all'angolo  $\varphi$  formato tra l'asse del canale e  $V_{min}$ , superato per  $\varphi$  il valore di circa  $14,5^\circ$  (valore massimo consigliato), il pilota aumenta il numero dei giri dei motori e quindi la velocità effettiva della nave ( $V_{eff}$ ).

Si evidenzia che la presenza di una corrente parallela alla costa presente all'esterno del porto, tende ad annullarsi all'interno dell'imboccatura portuale riducendo in tal modo la deriva della nave nel canale di accesso.

In conclusione quindi, in base alla manovra descritta si verificano le seguenti limitazioni per l'altezza d'onda significativa  $H_s$ :

1. al di fuori del porto deve risultare  $H_s < 1,5 \div 2,0$  m per consentire, se richiesto, al pilota del porto di salire sulla nave e l'eventuale collegamento della stessa nave con i rimorchiatori;
2. nel canale di accesso posto all'interno dell'imboccatura portuale dove avviene l'arresto della nave deve risultare  $H_s < 1,0$  m affinché i rimorchiatori possano esercitare il tiro massimo durante la manovra di arresto della nave.

Ovviamente queste condizioni pongono delle limitazioni sull'operatività dell'imboccatura portuale.

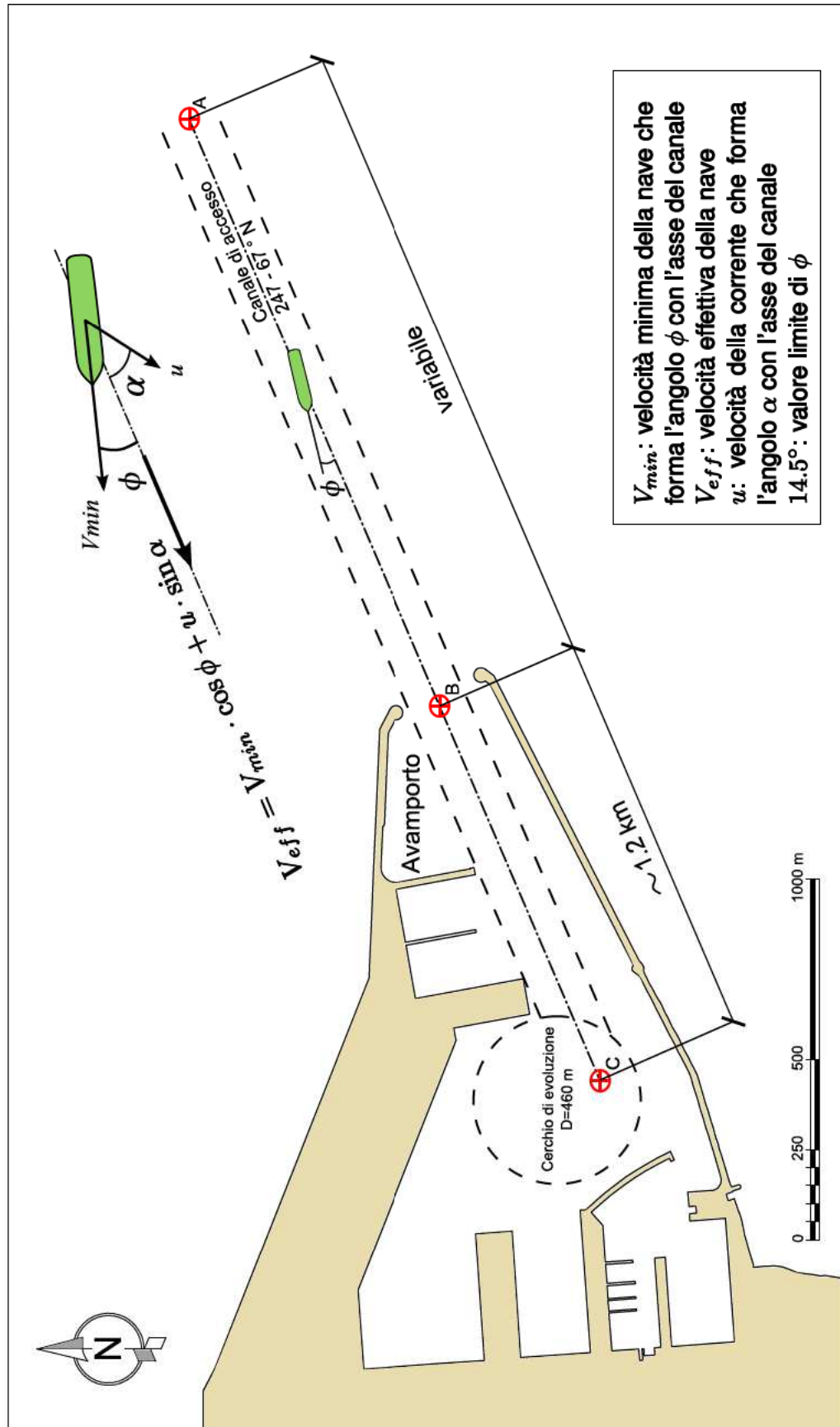


Figura 10. Schema della manovra di accesso al porto di Ortona (PRP 2010).

## 4.2 Verifica dello spazio di arresto

Con riferimento alla manovra descritta nel paragrafo precedente, lo spazio di arresto dipende dalla velocità effettiva ( $V_{eff}$ ) con la quale la nave transita per l'imboccatura portuale.

Nelle figg. 11, 12, 13 e 14 sono rappresentati i diagrammi polari che consentono di ricavare, per un prefissato valore  $U$  della corrente, il valore  $V_{eff}$  al variare dell'angolo ( $180^\circ - \alpha$ ). I diagrammi sono stati tracciati per  $U=0.5$ , 1.0, 1.5 e 2.0 kn. In tutti i diagrammi è stata imposta la velocità minima  $V_{min} = 4$  kn. In ciascun diagramma la corrente è di intensità  $U$  costante e la direzione  $0^\circ$  coincide con l'asse del canale. Si suppone inoltre che la rotta ideale della nave coincida con l'asse del canale ovvero con la direzione  $0^\circ$ . L'angolo formato dalla corrente con l'asse del canale viene fatto variare tra  $0^\circ$  e  $\pm 180^\circ$ . Il valore  $0^\circ$  corrisponde ad una corrente contraria rispetto alla direzione della nave, mentre il valore  $180^\circ$  corrisponde ad una corrente che investe la nave di poppa. Ovviamente il valore  $\pm 90^\circ$  corrisponde ad una corrente che investe la nave al traverso di dritta o di sinistra. I diagrammi sono perfettamente simmetrici rispetto all'asse verticale ( $0^\circ - \pm 180^\circ$ ).

Con riferimento al Porto di Ortona, nella manovra di ingresso la corrente investirà la nave mediamente al traverso di dritta e quindi nei diagrammi si deve far riferimento alle direzioni poste nell'intorno del valore  $+ 90^\circ$ . Dai diagrammi si evince quanto segue:

- per velocità della corrente pari a 0,5 kn (fig. 11),  $V_{min}$  risulta sempre pari a 4,0 kn, pertanto il pilota corregge la deriva causata della corrente esclusivamente agendo sul timone. Con corrente pressoché al traverso, la velocità effettiva della nave ( $V_{eff}$ ) risulta pressoché uguale alla  $V_{min} = 4$  kn;
- anche per velocità della corrente pari a 1,0 kn (fig. 12)  $V_{min}$  risulta quasi sempre pari a 4,0 kn e quindi il pilota corregge la deriva causata della corrente esclusivamente agendo sul timone. Con corrente al traverso la  $V_{eff}$  coincide con la  $V_{min}$  (4 kn). Per angoli posti nell'intorno di  $90^\circ$ ,  $V_{eff}$  risulta compresa tra 3,5 kn e 4,5 kn;
- per velocità della corrente pari a 1,5 kn (fig. 13) e per direzione della corrente compresa tra circa  $40^\circ$  e  $140^\circ$ , la sola correzione del timone non è più sufficiente e quindi il pilota deve aumentare la velocità minima  $V_{min}$  raggiungendo il valore massimo di circa 6,0 kn per corrente al traverso. Per angoli posti nell'intorno di  $90^\circ$ ,  $V_{eff}$  risulta compresa tra 5,5 kn e 6,1 kn.
- per velocità della corrente pari a 2,0 kn (fig. 14) e per direzione della corrente compresa tra  $30^\circ$  e  $150^\circ$ , come nel caso precedente la sola correzione del



timone non è sufficiente e quindi il pilota deve aumentare la velocità minima  $V_{min}$  raggiungendo il valore massimo di circa 8,0 kn per corrente al traverso. Per angoli posti nell'intorno di  $90^\circ$ ,  $V_{eff}$  risulta compresa tra 6,0 kn e 8,1 kn.

Con riferimento a dati riportati in letteratura per diverse tipologie di navi ed assumendo per la nave le velocità effettive di ingresso  $V_{eff} = 4$  kn e 6 kn si ottengono le seguenti distanze di arresto dove si è assunto cautelativamente che lo spazio di arresto a 4 kn di velocità sia pari a  $1,5 \times LOA$ , mentre quello a 6 kn di velocità sia pari a  $3,4 \times LOA$ .

$V_{eff} = 4$  kn:

- Contenitori (LOA = 250 m)	Spazio di arresto: 375 m
- Rinfuse solide (LOA = 200 m)	Spazio di arresto: 300 m
- Ro-ro (LOA = 185 m)	Spazio di arresto: 278 m
- Rinfuse liquide (LOA = 160 m)	Spazio di arresto: 240 m
- Crociere (LOA = 280 m)	Spazio di arresto: 420 m

$V_{eff} = 6$  kn:

- Contenitori (LOA = 250 m)	Spazio di arresto: 850 m
- Rinfuse solide (LOA = 200 m)	Spazio di arresto: 680 m
- Ro-ro (LOA = 185 m)	Spazio di arresto: 629 m
- Rinfuse liquide (LOA = 160 m)	Spazio di arresto: 544 m
- Crociere (LOA = 300 m)	Spazio di arresto: 952 m

In conclusione si può affermare quanto segue:

1. fino ad una velocità della corrente  $U$  pari ad 1,0 kn la velocità effettiva della nave all'ingresso del porto risulta pari a 4,0 kn, ovvero pari a quella minima necessaria a garantire la stabilità di rotta della nave. Con riferimento alla flotta di progetto lo spazio di arresto risulta compreso tra 240 m (navi fino a 160 m di lunghezza) e 420 m (navi fino a 280 m di lunghezza). Questi valori risultano notevolmente inferiori rispetto allo spazio di arresto disponibile che risulta di 1200 m;
2. per una velocità della corrente  $U$  superiore ad 1,0 kn ed inferiore od uguale a 1,5 kn la velocità effettiva della nave all'ingresso del porto risulta

pari al massimo a 6,0 kn, ovvero di due nodi superiore a quella minima necessaria per garantire la stabilità di rotta della nave. Con riferimento alla flotta di progetto lo spazio di arresto risulta compreso tra 544 m (navi fino a 160 m di lunghezza) e 952 m (navi fino a 280 m di lunghezza). Questi valori risultano inferiori rispetto allo spazio di arresto disponibile (1200 m) rimanendo un franco compreso tra 248 m e 656 m.