

# PIANO REGOLATORE PORTUALE DEL PORTO DI LIVORNO 2012

Titolo elaborato:

## ANALISI E VERIFICA DEL FUNZIONAMENTO DELL'INFRASTRUTTURA PORTUALE

Scala:

1
0
0
1
0
R
R
0
2
0
-
0
V
A
R

Committente:

AUTORITA' PORTUALE  
DI LIVORNO

Progettisti:

MODIMAR S.r.l.  
Prof. Ing. Alberto NOLI  
TECHNITAL S.p.A.  
SCIRO BUREAU VERITAS S.p.A.  
ACQUATECNO S.r.l.

	marzo 2013	0	EMISSIONE	A. SANZONE	A. NOLI	M. TARTAGLINI
Rif. Dis.	Data	Rev.	DESCRIZIONE	Redatto:	Verificato:	Approvato:

Dimensioni foglio: A4

Visto del Committente:

 <b>Autorità Portuale di Livorno</b>	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Analisi e verifica del funzionamento dell'infrastruttura portuale					
		Data: marzo 2013					
<b>Piano Regolatore Portuale 2012</b>		10	010	RR	020	-0	VAR

**NUOVO PIANO REGOLATORE PORTUALE  
DEL PORTO DI LIVORNO  
2012**

**ANALISI E VERIFICA DEL FUNZIONAMENTO DELL'INFRASTRUTTURA PORTUALE**

**INDICE**

<b>1</b>	<b>PREMESSE</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>NAVI DI PROGETTO E CANALE DI ACCESSO</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>CANALE DI ACCESSO E IMBOCCATURA PORTUALE</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>CERCHIO DI EVOLUZIONE</b>	<b>12</b>
<b>5</b>	<b>CARATTERISTICHE DELLE BANCHINE</b>	<b>14</b>
5.1	Pescaggio massimo delle navi	14
5.2	Lunghezze degli accosti	17
	<b>APPENDICE 1: STUDIO DELL'EVOLUZIONE DEI VETTORI MARITTIMI</b>	<b>18</b>

 <b>Autorità Portuale di Livorno</b>	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Studio della gestione dei materiali di dragaggio					
		Data: marzo 2013					
<b>Piano Regolatore Portuale 2012</b>		10	010	RR	020	-0	VAR

## 1 PREMESSE

Per ottimizzare la scelta della configurazione delle nuove opere esterne ed interne previste nel nuovo Piano Regolatore del Porto di Livorno, ed in particolare di quelle della Piattaforma Europa che ne rappresenta l'espansione a nord, come è consuetudine nella pianificazione/progettazione dei grandi terminal marittimi, è stato eseguito uno studio delle condizioni di accessibilità, di navigabilità e di funzionalità/operatività, preliminare alle prove di navigabilità con simulatore di manovra che sono state eseguite presso il Centro di Simulazione della Navigazione degli Alberoni a Voltabarozzo (VE) del Magistrato delle Acque di Venezia.

La Piattaforma Europa, nella configurazione proposta nel nuovo P.R.P., rientra nella tipologia dei porti a moli convergenti con avamposto di ampie dimensioni dove le navi che entrano in porto possono svolgere l'evoluzione e dirigersi agli ormeggi.

La diga nord e la diga rettilinea distaccata proteggono il tratto terminale del canale di accesso e l'avamposto della Piattaforma dai moti ondosì più intensi provenienti dal III quadrante, pertanto l'evoluzione delle navi, sia in ingresso che in uscita dal porto, si potranno svolgere in condizioni di mare calmo.

Grazie alla configurazione delle opere foranee della Piattaforma Europa ed agli ampi spazi a disposizione delle navi per lo svolgimento delle manovre, non si riscontra la presenza di situazioni critiche sia nei riguardi delle manovre di ingresso/uscita che di accesso alle banchine dei terminali.

Pertanto in questa fase, preliminare alla verifica con simulatore di manovra eseguita presso il Centro di Simulazione della Navigazione degli Alberoni (v. Elaborato 10010RR013-OMAR "Studio della navigabilità), sono state individuate delle rotte che verranno seguite dalle navi in ingresso ed in uscita ed è stato eseguito il dimensionamento del canale di accesso e delle aree di evoluzione basandosi sulle caratteristiche tecniche e geometriche della flotta di progetto e facendo riferimento alle raccomandazioni internazionali per questo tipo di opere.

Preliminarmente, sulla base dei risultati dello studio sull'evoluzione dei vettori marittimi (v. Appendice), sono state definite le cosiddette "navi di progetto", le navi cioè da considerare come rappresentative per i nuovi terminal della Piattaforma Europa in particolare e per tutto il

 <b>Autorità Portuale di Livorno</b> <b>Piano Regolatore Portuale 2012</b>	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Studio della gestione dei materiali di dragaggio					
		Data: marzo 2013					
		10	010	RR	020	-0	VAR

porto di Livorno in generale e che presentano le caratteristiche più sfavorevoli nei riguardi delle manovrabilità.

Nella parte finale del documento viene infine riportata una verifica dei requisiti funzionali e dimensionali del terminal container della Piattaforma Europa.

 <b>Autorità Portuale di Livorno</b>	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Studio della gestione dei materiali di dragaggio					
		Data: marzo 2013					
<b>Piano Regolatore Portuale 2012</b>		10	010	RR	020	-0	VAR

## 2 NAVI DI PROGETTO E CANALE DI ACCESSO

Per la definizione del canale di accesso esterno, dell'imboccatura e dell'avamposto della Piattaforma Europa è stato necessario preliminarmente definire le cosiddette "navi di progetto". Con questo termine ci si riferisce alle navi delle massime dimensioni che si prevede potranno frequentare il porto da oggi ad un orizzonte temporale che si estende fino a 25÷30 anni, come è consueto nella redazione di un Piano Regolatore Portuale.

In generale si parla di navi di progetto, al plurale, in quanto è bene considerare tutte le più importanti categorie di navi che potranno accedere al porto, ognuna caratterizzata da diverse immersioni e da diversa manovrabilità.

Nel caso del porto di Livorno e della Piattaforma Europa le navi di maggiori dimensioni da prendere in considerazione sono le porta-contenitori e le petroliere. Meno importanti sono le rinfusiere, in quanto il traffico di rinfuse nel porto di Livorno e nella Piattaforma Europa non riveste un grande interesse; importanti, ma molto più manovriere e più piccole delle altre navi, sono le ro-ro, le ro-pax e le navi che trasportano auto nuove, che già attualmente rivestono un ruolo di grande importanza nel porto di Livorno e delle quali è previsto un impiego crescente nei prossimi anni.

Per quanto riguarda le navi porta-contenitori, è ben noto che l'abbandono della rotta preferenziale per il canale di Panama ha ingenerato una sorta di corsa al gigantismo, di cui è difficile intravedere un termine. Studi eseguiti recentemente indicano che, almeno per il mercato trans-pacifico, le richieste di mercato fino 2015÷2020 saranno ampiamente soddisfatte dalla prossima generazione di navi da 8000 TEU. Successivamente le dimensioni delle navi potrebbero ancora aumentare.

Un fattore da considerare a tale riguardo è costituito dalla decisione o meno di modificare le dimensioni del canale di Panama. Alcuni recenti progetti di ampliamento dei porti statunitensi sulla costa pacifica considerano come nave di progetto la cosiddetta "New Panamax", (molto simile alla "Suez max"), sulla base della quale verrà ampliato il sopraddetto canale, atta a trasportare 10.000÷12.000 TEU e caratterizzata dalle seguenti dimensioni principali:

$$LFT= 386 \text{ m}; d= 15,2 \text{ m}; B= 54,9 \text{ m}$$

 <b>Autorità Portuale di Livorno</b> <b>Piano Regolatore Portuale 2012</b>	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Studio della gestione dei materiali di dragaggio					
		Data: marzo 2013					
		10	010	RR	020	-0	VAR

In conclusione, per la Piattaforma Europa, si è ritenuto opportuno considerare come nave di progetto porta contenitori una New Panamax da 9.000 TEU, che rappresenta la nave di maggiori dimensioni attualmente in servizio per questo tipo di vettori, avente le seguenti caratteristiche:

- Lunghezza FT (LOA): 360 m
- Larghezza (B): 43 m
- Immersione a pieno carico (T): 15 m

Per quanto riguarda la petroliera di progetto, si può considerare una nave da 80.000 t d.w., di lunghezza pari a 235 m, larghezza 40 m, immersione 14 m.

Per quanto riguarda le navi ro-ro si può considerare una nave da 30.000 t d.w., di lunghezza pari a 250 m, larghezza 30 m, immersione 12 m, che può essere considerata rappresentativa anche della categoria di navi che trasportano auto nuove.

Infine per la nave traghetto (ro-ro pax) si possono considerare quelle di massima dimensione circolanti nel Mediterraneo, assumendo i seguenti valori che ne caratterizzano la geometria: LOA= 225 m; B= 30 m; d= 7.0 m.

 <b>Autorità Portuale di Livorno</b> <b>Piano Regolatore Portuale 2012</b>	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Studio della gestione dei materiali di dragaggio					
		Data: marzo 2013					
		10	010	RR	020	-0	VAR

### 3 CANALE DI ACCESSO E IMBOCCATURA PORTUALE

Con le ipotesi anzidette, si è anzitutto esaminato il problema del canale esterno e dell'imboccatura portuale.

Per il canale navigabile è opportuno un orientamento il più vicino possibile ai venti ed ai mari dominanti, che corrisponde alla direzione libeccio-grecale.

Nella configurazione di progetto il canale di accesso è orientato secondo la direzione 211°N con una deviazione rispetto a quella di provenienza dei venti e dei mari dominanti di appena 14°. Questa soluzione è stata preferita a quella orientata esattamente secondo la direzione libeccio-grecale in quanto in questo caso il canale si colloca più in vicinanza delle secche della Meloria, fonte di potenziale pericolo per la navigazione.

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.

La profondità del canale di accesso rispetto al livello medio marino è determinata dalla somma dei seguenti contributi (v. figura 1):

- livello di bassa marea,
- pescaggio a pieno carico della nave di progetto,
- incremento in navigazione del pescaggio della poppa denominato "squat",
- moto ondosio,
- franco di sicurezza,
- tolleranza di dragaggio.

 <b>Autorità Portuale di Livorno</b>	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciuro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Studio della gestione dei materiali di dragaggio					
		Data: marzo 2013					
<b>Piano Regolatore Portuale 2012</b>		10	010	RR	020	-0	VAR

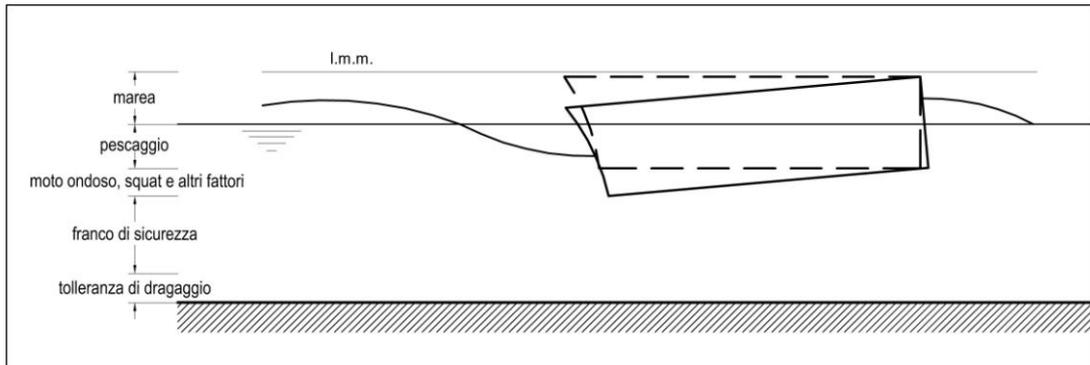


Figura 1 - Schema di riferimento per determinare la profondità del canale di accesso

Per quanto riguarda il pescaggio e lo squat, si è fatto riferimento ad una nave porta-contenitori da 7.000 TEU che di fatto, in termini di pescaggio, è sicuramente rappresentativa delle flotte di navi che utilizzeranno le banchine della Piattaforma Europa, le cui caratteristiche sono riportate nella tabella 1.

Tabella 1 - Nave di progetto per determinare la profondità del canale di accesso

Porta container da 9.000 TEU	Caratteristiche
Portata lorda DWT (t)	120.000
Lunghezza fuori tutto (m)	360
Lunghezza tra le perpendicolari (m)	340
Larghezza (m)	43
Pescaggio (m)	15

Lo squat è stato determinato in base alla seguente relazione (PIANC, 1997):

$$S = 2.4 (V'/L^2) F^2 / (1-F^2)^{1/2}$$

dove:

- V' è il volume di dislocamento (m<sup>3</sup>),
- L è la lunghezza tra le perpendicolari: 299 (m),
- F è il numero di Foudé pari a  $V/(gh)^{1/2}$ ,
- V è la velocità: 3 (m/s)
- h è la profondità: 17 (m).

Ipotizzando una velocità di 3 m/s, pari a circa 6 nodi, e tenendo conto che il volume di dislocamento è dato dalla relazione:

 <b>Autorità Portuale di Livorno</b>	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Studio della gestione dei materiali di dragaggio					
		Data: marzo 2013					
<b>Piano Regolatore Portuale 2012</b>		10	010	RR	020	-0	VAR

$$V' = C_B L B T$$

dove:

- $C_B$  è il "block coefficient" pari a circa 0.7 per le navi in esame,
- $B$  è la larghezza della nave 43 (m),
- $T$  è il pescaggio della nave 15 (m),

da cui si ottiene volume di dislocamento  $V' = 136.000$  t ed uno squat pari a circa 0.28 m

Considerando un contributo dovuto al moto ondoso pari ad 0.50 m, per la bassa marea un abbassamento del livello medio di circa 0.3 m, una tolleranza di dragaggio pari a 0.2 m e un franco minimo di sicurezza pari a circa 0.6 m (per fondali sabbiosi), dalla somma dei vari contributi si ottiene una profondità minima del canale pari a circa 16.88 m inferiore di quella (17 m) prevista.

La larghezza minima del canale di accesso è stata determinata considerando un valore della velocità pari a 6 nodi. Inoltre, poiché è un elemento dimensionante, è stata considerata una profondità del canale pari a 17 m.

Nel caso di canale a doppio senso di navigazione, la larghezza totale è data dalla somma di tre elementi che dipendono dalla larghezza della nave  $B$  (v. figura 2):

- 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*).

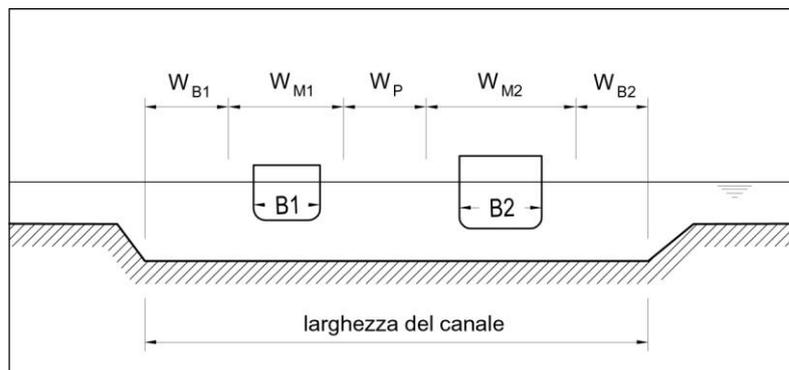


Figura 2 - Schema di riferimento per determinare la larghezza del canale di accesso

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:

 <b>Autorità Portuale di Livorno</b> <b>Piano Regolatore Portuale 2012</b>	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Studio della gestione dei materiali di dragaggio					
		Data: marzo 2013					
		10	010	RR	020	-0	VAR

- 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, anch'essi funzione della larghezza della nave B, sono riportati nella tabella 2.

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 (v. tabella 3).

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 4).

Si osserva che quanto riportato nelle tabelle 2-4, fa riferimento al caso di canale esterno in mare aperto.

Per determinare la larghezza del canale a doppio senso di navigazione è stato cautelativamente ipotizzati il caso di transito contemporaneo di una nave container e di una nave traghetto-Ro-Ro Pax

Per quanto riguarda la nave container è stata considerata una larghezza B pari a 43 m ed un pescaggio pari a 15 m, corrispondente ad una porta container da 9.000 TEU.

Per la navi Ro-Ro Pax è stata considerata una larghezza di 30 m ed un pescaggio pari a 8.5 m. A riguardo si osserva che, come indicato nello studio sull'evoluzione dei vettori marittimi riportato in appendice, il 90% delle navi Ro-Ro Pax è caratterizzato da una larghezza inferiore e il valore considerato del pescaggio corrisponde a quello massimo del campione di navi individuato.

 <b>Autorità Portuale di Livorno</b> <b>Piano Regolatore Portuale 2012</b>	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Studio della gestione dei materiali di dragaggio					
		Data: marzo 2013					
		10	010	RR	020	-0	VAR

Con riferimento alle tabelle 2-4, la velocità di navigazione nel canale è stata considerata bassa (6 nodi). Il vento è stato considerato moderato (<33 nodi), le correnti longitudinali e trasversali basse e trascurabili, l'altezza d'onda significativa inferiore a 1 m. Il livello di rischio e la densità di traffico sono stati considerati bassi sia perché le navi di progetto non trasportano merci pericolose, sia perché le due combinazioni di navi in transito hanno una probabilità di verificarsi estremamente bassa.

Infine gli "Aiuti alla navigazione" sono stati considerati eccellenti con controllo del traffico da terra.

Dai calcoli eseguiti risulta che la larghezza minima del canale necessaria per il doppio senso di navigazione è pari a circa 227 m (v. tabella 5) inferiore a quella (250 m) prevista.

Al fine di contenere il livello di agitazione ondosa in corrispondenza delle banchine, per l'imboccatura interna della Piattaforma Europa è stata prevista una larghezza (200 m) leggermente inferiore di quella del canale di accesso. Peraltro relativamente al passaggio attraverso l'imboccatura si potrà impedire il transito contemporaneo nei due sensi senza che questo condizioni l'operatività dei terminali della Piattaforma Europa.

 <b>Autorità Portuale di Livorno</b> <b>Piano Regolatore Portuale 2012</b>	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Studio della gestione dei materiali di dragaggio					
		Data: marzo 2013					
		10	010	RR	020	-0	VAR

*Tabella 2 - Fattori di incremento della larghezza della corsia di manovra WM*

Fattore di incremento	Velocità della nave	Incremento
<b>Velocità della nave (nodi)</b>		
	Veloce >12	0.1 B
	Moderata >8-12	0.0
	<u>Bassa 5-8</u>	<u>0.0</u>
<b>Vento trasversale (nodi)</b>		
Basso <15	tutte le velocità	0.0
	Veloce	0.3 B
<u>Moderato &gt;15-33</u>	Moderata	0.4 B
	<u>Bassa</u>	<u>0.5 B</u>
	Veloce	0.6 B
Elevato >33-48	Moderata	0.8 B
	Bassa	1.0 B
<b>Correnti trasversali (nodi)</b>		
<u>Trascurabili &lt;0.2</u>	<u>tutte le velocità</u>	<u>0.0</u>
	Veloce	0.1 B
Basse 0.2-0.5	Moderata	0.2 B
	Bassa	0.3 B
	Veloce	0.5 B
Moderate >0.5-1.5	Moderata	0.7 B
	Bassa	1.0 B
	Veloce	0.7 B
Elevate >1.5-2.0	Moderata	1.0 B
	Bassa	1.3 B
<b>Correnti longitudinali (nodi)</b>		
<u>Basse &gt;1.5</u>	<u>tutte le velocità</u>	<u>0.0</u>
	Veloce	0.0
Moderate >1.5-3.0	Moderata	0.1 B
	Bassa	0.2 B
	Veloce	0.1 B
Elevate >3.0	Moderata	0.2 B
	Bassa	0.4 B
<b>Altezza d'onda significativa Hs e lunghezza <math>\lambda</math> (m)</b>		
<u>Hs ≤ 1 m e <math>\lambda</math> ≤ L</u>	<u>tutte le velocità</u>	<u>0.0</u>
	Veloce	2.0 B
3 m > Hs > 1 m e $\lambda$ = L	Moderata	1.0 B
	Bassa	0.5 B
	Veloce	3.0 B
Hs > 3 m e $\lambda$ > L	Moderata	2.2 B
	Bassa	1.5 B
<b>Aiuti alla navigazione</b>		
<u>Eccellenti con controllo del traffico da terra</u>		<u>0.0</u>
Buoni		0.1 B
Moderati con scarsa visibilità non frequente		0.2 B
Moderati con scarsa visibilità non frequente		≥0.5 B
<b>Superficie del fondale</b>		
Se profondità > 1.5 d		0.0
<u>Se profondità &lt; 1.5 d</u>		
<u>Piana e sabbiosa</u>		<u>0.1 B</u>
Piana o inclinata e rocciosa		0.1 B
Irregolare e rocciosa		0.2 B
<b>Profondità del canale</b>		
> 1.5 d		0.0
1.15 d - 1.5 d		0.1 B
<u>&lt; 1.25 d</u>		<u>0.2 B</u>
<b>Livello di rischio</b>		
<u>Basso</u>		<u>0.0</u>
Medio		0.5 B
Elevato		1.0 B

B = larghezza della nave di progetto  
d = pescaggio della nave di progetto

 <b>Autorità Portuale di Livorno</b> <b>Piano Regolatore Portuale 2012</b>	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Studio della gestione dei materiali di dragaggio					
		Data: marzo 2013					
		10	010	RR	020	-0	VAR

*Tabella 3 - Fattori di incremento della distanza minima di passaggio tra le navi WP*

Fattore di incremento		Velocità della nave	Incremento
Velocità della nave (nodi)		Veloce >12	2.0 B
		Moderata >8-12	1.6 B
		<u>Bassa 5-8</u>	<u>1.2 B</u>
Densità del traffico	Bassa		0.0
	Moderata		0.2 B
	Elevata		0.5 B

*Tabella 4 - Fattori di incremento della larghezza del franco di sponda WB*

Fattore di incremento		Velocità della nave	Incremento
Caratteristiche delle sponde del canale <u>Sponda inclinata e bassi fondali</u>		Veloce	0.7 B
		Moderata	0.5 B
		<u>Bassa</u>	<u>0.3 B</u>
Sponda molto inclinata e banchinamenti		Veloce	1.3 B
		Moderata	1.0 B
		Bassa	0.5 B

*Tabella 5 - Larghezza del canale di accesso a doppio senso di navigazione: nave bulk e Ro-Ro Pax*

Tipologia di nave	larghezza della corsia di manovra $W_M$		larghezza del franco di sponda $W_B$	distanza minima di passaggio tra le navi $W_P$	Totale (m)
	larghezza di base	incrementi			
Nave Contenitori B = 43 m	1.3 B = 56 m	0.8 B = 34 m	0.3 B = 13 m	1.2 B = 52 m	155 m
Nave Ro-Ro Pax B = 30 m	1.3 B = 39 m	0.8 B = 24 m	0.3 B = 9 m		72 m
Totale larghezza del canale					227 m

 <b>Autorità Portuale di Livorno</b>	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Studio della gestione dei materiali di dragaggio					
		Data: marzo 2013					
<b>Piano Regolatore Portuale 2012</b>		10	010	RR	020	-0	VAR

#### 4 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 l'area di evoluzione prevista nell'avamposto interno della Piattaforma Europa, in corrispondenza dell'ingresso nella darsena del terminal Container, ha diametro pari a 800 m, mentre quelle previste negli specchi acquei prospicienti il terminal merci pericolose e gli attracchi esterni del terminal Ro-Ro hanno diametro pari a 400 m, pertanto sono possibili le seguenti manovre di evoluzione:

Piattaforma Europa (terminals container e ro-ro)

- manovra in condizioni sfavorevoli senza assistenza dei rimorchiatori e senza l'utilizzo dei propulsori laterali per navi di lunghezza fino 200 m,
- manovra in condizioni favorevoli senza assistenza dei rimorchiatori e senza l'utilizzo dei propulsori laterali per navi di lunghezza fino 260 m,
- manovra assistita dai rimorchiatori e/o con l'utilizzo dei propulsori laterali per navi di lunghezza fino 400 m.

Terminal merci pericolose

- manovra in condizioni sfavorevoli senza assistenza dei rimorchiatori e senza l'utilizzo dei propulsori laterali per navi di lunghezza fino 100 m,

 <b>Autorità Portuale di Livorno</b> <b>Piano Regolatore Portuale 2012</b>	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Studio della gestione dei materiali di dragaggio					
		Data: marzo 2013					
		10	010	RR	020	-0	VAR

- manovra in condizioni favorevoli senza assistenza dei rimorchiatori e senza l'utilizzo dei propulsori laterali per navi di lunghezza fino 130 m,
- manovra assistita dai rimorchiatori e/o con l'utilizzo dei propulsori laterali per navi di lunghezza fino 260÷200 m.

 <b>Autorità Portuale di Livorno</b> <b>Piano Regolatore Portuale 2012</b>	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Studio della gestione dei materiali di dragaggio					
		Data: marzo 2013					
		10	010	RR	020	-0	VAR

## 5 CARATTERISTICHE DELLE BANCHINE

### 5.1 Pescaggio massimo delle navi

Le banchine del terminal container destinate agli accosti delle navi di maggiori dimensioni (banchina nord e banchina ovest) sono caratterizzate da una profondità al piede pari a 16.00 m, mentre quella destinata alle navi feeder (banchina sud) è caratterizzata da una profondità al piede pari a 13.00 m.

Le banchine del terminal Autostrade del mare sono caratterizzate da una profondità al piede pari a 13.00 m, mentre quelle della darsena merci pericolose da una profondità al piede pari a 15.00 m.

Il pescaggio massimo delle navi destinate all'utilizzo di queste banchine può essere determinata sottraendo alla profondità della banchina le seguenti altezze (v. figura 3):

- livello di bassa marea,
- moto ondoso,
- franco di sicurezza,
- tolleranza di dragaggio.

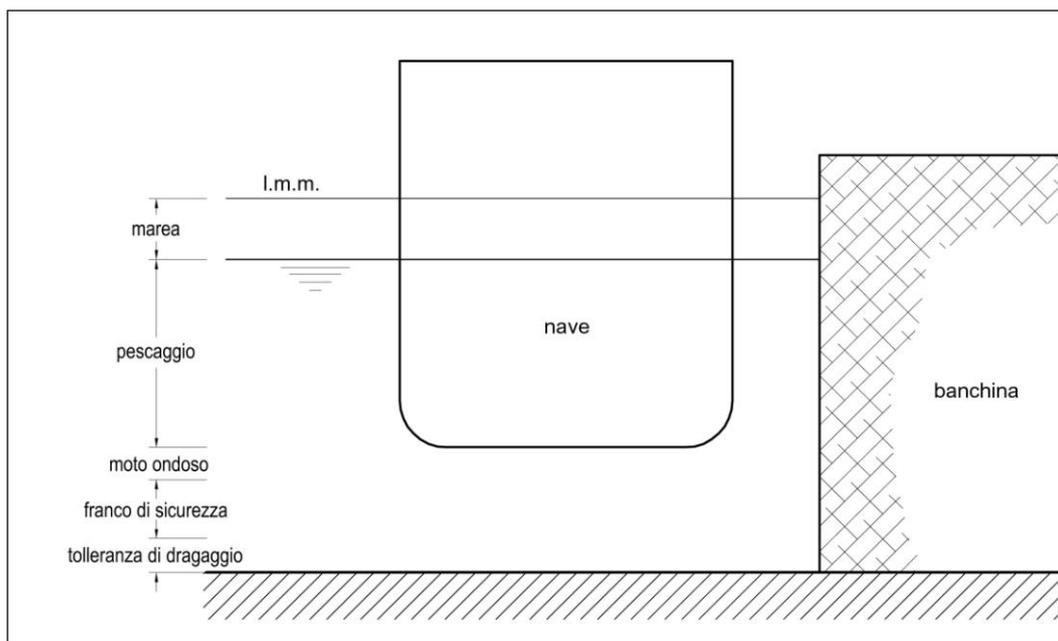


Figura 3 - Schema di riferimento per determinare il pescaggio massimo per le banchine

 <b>Autorità Portuale di Livorno</b> <b>Piano Regolatore Portuale 2012</b>	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Studio della gestione dei materiali di dragaggio					
		Data: marzo 2013					
		10	010	RR	020	-0	VAR

L'abbassamento del livello medio in condizioni di bassa marea può essere considerato pari a circa 0.3 m.

Poiché le banchine sono protette dal moto ondoso, e considerate le dimensioni delle navi che le rendono sensibili solamente alle onde di lungo periodo, l'effetto del moto ondoso sul pescaggio delle navi può ritenersi trascurabile.

Pertanto, considerando una tolleranza di dragaggio pari a 0.2 m e considerando un franco di sicurezza minimo pari a 0.5 m (fondale sabbioso/limoso), si ottengono un pescaggio massimo di 15 m per le navi porta contenitori di maggiori dimensioni che utilizzeranno la banchina Nord, di 12 m per le navi porta contenitori di minori dimensioni e le feeder che utilizzeranno la banchina Sud, di 12 m per le navi ro-ro, ro-ro pax ed in generale per quelle che frequenteranno il nuovo terminal Autostrade del mare, e -12 m per le oil e gas tanker.

*Tabella 6 - Pescaggio massimo delle navi per le diverse banchine*

	<b>Banchine Terminal Container</b>	<b>Banchine Contenitori Feeder</b>	<b>Banchine navi Ro-Ro</b>	<b>Banchine Petroliere Gasiere</b>
Marea (m)	0.3	0.3	0.3	0.3
Moto ondoso (m)	0.0	0.0	0.0	0.0
Franco di sicurezza (m)	0.5	0.5	0.5	0.5
Tolleranza di dragaggio (m)	0.2	0.2	0.2	0.2
Profondità banchina (m)	16.0	13.0	13.0	15.0
<b>Pescaggio massimo (m)</b>	<b>15.0</b>	<b>12.0</b>	<b>12.0</b>	<b>14.0</b>

Facendo riferimento alle analisi riportate nei capitoli precedenti, si evidenzia che sia per le navi Ro-Ro Pax, sia in esercizio che di prossima costruzione, le quote dei fondali al piede delle banchine previste nello studio di fattibilità della Piattaforma Europa non pongono alcuna limitazione al loro utilizzo.

Per quanto riguarda le navi porta contenitori le quote minime dei fondali degli specchi acquei delle banchine destinate a questi tipi di traffici (-16.00 m s.m.) non pongono alcuna limitazione al loro utilizzo da parte delle navi che attualmente compongono la flotta mondiale di questo tipo di vettori, per le navi ro-ro e le navi che trasportano auto nuove le quote dei fondali degli specchi acquei prospicienti le banchine previste (-13.00 m s.m.) consentono l'ormeggio a navi

 <b>Autorità Portuale di Livorno</b> <b>Piano Regolatore Portuale 2012</b>	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Studio della gestione dei materiali di dragaggio					
		Data: marzo 2013					
		10	010	RR	020	-0	VAR

fino a 30.000 DWT, mentre per le navi che trasportano prodotti petroliferi e gas le quote dei fondali della darsena a loro riservata consentono l'ormeggio a navi fino a 80.000 DWT.

 <b>Autorità Portuale di Livorno</b> <b>Piano Regolatore Portuale 2012</b>	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Studio della gestione dei materiali di dragaggio					
		Data: marzo 2013					
		10	010	RR	020	-0	VAR

## 5.2 Lunghezze degli accosti

Per le navi Ro-Ro, Ro-Ro Pax ed in generale per quelle che frequenteranno il terminal Autostrade del mare della Piattaforma Europa, lungo la banchina ovest sono previste sei attracchi con pontili/banchine di lunghezza pari a 240 m, mentre all'interno della darsena è prevista una banchina (banchina sud) lunga 1.270 m. Tenendo conto che per l'accosto di una nave di lunghezza L è necessaria una banchina di lunghezza pari a circa  $1.1 \times L$  e che la distanza tra due navi ormeggiate contemporaneamente lungo una banchina è pari a  $0.1 \times L$ , si ottiene che la lunghezza massima delle navi che potranno utilizzare i sei attracchi previsto lungo la banchina ovest è pari a circa 220 m, mentre lungo la banchina sud potranno ormeggiare contemporaneamente quattro navi Ro-Ro da 30.000 DWT oppure n° 4 traghetti dell'ultima generazione.

Per quanto riguarda invece le banchine del terminal container lungo la banchina (lunghezza 1.220 m), riservate alle navi di maggiori dimensioni, tenendo conto anche in questo caso che per l'accosto di una nave di lunghezza L è necessaria una banchina di lunghezza pari a circa  $1.1 \times L$  e che la distanza tra due navi ormeggiate contemporaneamente lungo una banchina è pari a  $0.1 \times L$ , potranno ormeggiare contemporaneamente due navi post-panamax da 9.000 TEU (LOA 360 m) ed una feeder. Mentre lungo la banchina sud (lunghezza 1.145 m) riservata alle porta-contenitori di minori dimensioni ed alle feeder potranno ormeggiare contemporaneamente quattro navi da 3.000 TEU (LOA 230 m) oppure cinque navi da 1.500 TEU (LOA 180 m) oppure sei navi da 1.000 TEU (LOA 155 m).

Per le navi che trasportano merci pericolose (oli e gas tanker) nel terminal dedicato sono previsti quattro accosti di cui tre in grado di ospitare navi da 50.000 DWT ed uno, quello a ridosso della diga nord, navi fino a 80.000 DWT.

 <b>Autorità Portuale di Livorno</b>	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Studio della gestione dei materiali di dragaggio					
		Data: marzo 2013					
<b>Piano Regolatore Portuale 2012</b>		10	010	RR	020	-0	VAR

## APPENDICE 1: STUDIO DELL'EVOLUZIONE DEI VETTORI MARITTIMI

### A. INTRODUZIONE

Il presente studio sviluppa due temi di fondamentale importanza per la pianificazione e l'analisi dell'operatività di un porto o di un terminal specializzato. Il primo è quello della stima del "parco circolante" che nel prossimo futuro sarà presente sulle rotte mondiali, continentali e nazionali. Il secondo è quello di derivare relazioni quantitative che descrivano le caratteristiche geometriche e le capacità di carico delle principali tipologie di navi.

Relativamente al primo tema, è di fondamentale importanza conoscere quali saranno le dimensioni principali di un natante (larghezza, lunghezza e immersione) e la sua numerosità assoluta e percentuale: dalla possibilità di accogliere le future navi dipenderanno in modo univoco e diretto le sorti di un porto. In altre parole, il primo elemento (di una lunga serie) di un vantaggio competitivo è proprio la possibilità infrastrutturale di accogliere le navi; conoscerne quindi le caratteristiche è il primo passo.

Conoscere poi quale capacità di carico è associata alle diverse dimensioni delle navi che si riesce a far entrare risulta necessario per la fase successiva di "handling" dei carichi: non solo "fare entrare" la nave, ma anche "caricarla/scaricarla" nei tempi e modi congrui. Una corretta pianificazione portuale non può prescindere da tale conoscenza approfondita. Non può neanche prescindere da quale peso ha, in termini di numerosità, una data classe di nave.

Ci si accorge allora che anche la simulazione dell'operatività portuale (traffico, "thruput",...) dipende da una corretta stima delle relazioni fra caratteristiche geometriche e di carico in primis e poi dalle caratteristiche di navigabilità e manovriere di ogni tipo di nave. Le simulazioni si articolano generalmente in due filoni principali:

- (i) la verifica della capacità di una data nave di manovrare all'interno di un porto,
- (ii) la modellazione dell'intero traffico portuale.

I modelli che si applicano sono profondamente diversi, dati i loro scopi, ma tutti e due hanno alla base un dato fondamentale: la conoscenza approfondita delle caratteristiche geometriche e di carico dei vettori marittimi ad oggi e nel futuro prossimo.

 <b>Autorità Portuale di Livorno</b> <b>Piano Regolatore Portuale 2012</b>	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Studio della gestione dei materiali di dragaggio					
		Data: marzo 2013					
		10	010	RR	020	-0	VAR

## **B. EVOLUZIONE DELLE CARATTERISTICHE DELLA FLOTTA MONDIALE DI PORTACONTAINER**

### **B.1. Dati di base**

Le elaborazioni presentate nel presente studio sono tutte basate sull'anagrafica della flotta mondiale fornita dalla Clarkson Inc. Si è utilizzato in particolare "The Clarkson Register Professional Edition" che, secondo l'esperienza del raggruppamento scrivente, fornisce la più esaustiva, completa ed articolata anagrafica della flotta mondiale. Il DataBase è stato utilizzato come base delle stime dell'assetto futuro della flotta circolante. In particolare si sono utilizzati 4697 dati di portacontainer (1 dato = 1 nave) inclusivi degli ordinativi.

Si sono poi confrontate le elaborazioni statistiche e relazionali svolte dal raggruppamento scrivente con quelle elaborate da altri centri studi internazionali come USCorps of Engineers, o la Stanford University verificando la bontà e la significatività delle presenti elaborazioni. I dati di riferimento della Clarkson register non sono quindi riportati nelle didascalie delle figure per alleggerire la notazione. Tutte le elaborazioni sono a cura del soggetto scrivente, capogruppo Modimar.

### **B.2. Evoluzione delle portacontenitori**

Nel decennio 1995-2005 si è verificata una vera e propria rivoluzione nel trasporto marittimo, segnata dalla crescita esplosiva delle navi portacontenitori. Le unità complessive sono più che raddoppiate passando da 1507 a 3552, con una crescita media composta (CAGR) quindi del 9%. Nel periodo compreso tra 2005 ed il 2010 i tassi di crescita si sono ridotti attestandosi al 6% e le unità complessive hanno raggiunto 4.699.

Questa forte crescita è innanzitutto la manifestazione di una tendenza alla "sostituzione" della modalità di trasporto delle merci da "varia" a "contenairizzata".

### **B.3. Dati storici**

In relazione alla flotta di portacontenitori (v. tabella B.1) si osservano due fenomeni fondamentali

 <b>Autorità Portuale di Livorno</b>	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Studio della gestione dei materiali di dragaggio					
		Data: marzo 2013					
<b>Piano Regolatore Portuale 2012</b>		10	010	RR	020	-0	VAR

- la crescita esplosiva del segmento delle Panamax e delle Postpanamax con tassi di crescita medi del 9% e 28% rispettivamente nel periodo 1995-2005 e del 8% e 11% nel periodo 2005-2010;
- la sostituzione completa del segmento feeder, cresciuto “solo” del 3% annuo nel periodo 1995-2005 e rimasto praticamente fermo nel periodo 2005-2010

Infatti delle nuove 2045 unità costruite nel decennio 1995-2005, 1048 (cioè il 51% circa) sono Sub Panamax o superiori (LOA>190 m, T> 11.0m) mentre nel periodo 2005-2010 delle nuove 1147 unità costruite ben 718 (circa il 63%) sono Sub Panamax o superiori.

#### **B.4 Previsione della flotta circolante**

Alla luce della crescita esplosiva registrata negli ultimi 15 anni, appare quindi fondamentale cercare di prevedere l’assetto futuro della flotta delle containers. E’ indubbio che i tassi di crescita storici dei segmenti dimensionali maggiori non saranno mantenuti nel futuro. Tuttavia lo studio dei dati relativi all’ultimo quinquennio mostra che la crescita è ancora molto sostenuta. Infatti delle 1147 nuove portacontainers previste in consegna fino al 2010, 718 (il 63%) appartengono ai tre segmenti Sub Panamax, Panamax e Post Panamax (>2000 TEU).

La previsione della flotta circolante nel prossimo futuro viene così derivata.

Dai dati relativi alla parchi circolanti nei vari anni presi in considerazione (1995, 2002, 2005 e 2010) si possono calcolare tutti i tassi medi di crescita dei diversi segmenti dimensionali delle containers. Essi sono riportati nel quadro d’insieme della pagina successiva. Per comprendere il semplice modello previsionale si consideri la seconda colonna, che descrive l’evoluzione delle Post Panamax. Il CAGR 95-05 è del 28%, ma tale tasso di crescita diminuisce man mano che l’anno iniziale di computo cresce. Ad esempio negli anni 2002-2005 è stato del 16%. La crescita dal 2002 è ancora minore se si computa il CAGR fino alla flotta del 2010: 13%. Infine la crescita media dal 2005 al 2010 è pari all’11% annuo. Pensare che tale tasso sia sostenuto anche negli anni successivi al 2010 non appare corretto. Alcune pubblicazioni tecniche di settore prevedono addirittura un problema di sovracapacità.

Alla luce di tali considerazioni a tutti i tassi di crescita dei diversi segmenti così calcolati dal 2005 al 2010 ai fini della estrapolazione agli anni successivi si applica una conservativa riduzione del

 <b>Autorità Portuale di Livorno</b> <b>Piano Regolatore Portuale 2012</b>	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Studio della gestione dei materiali di dragaggio					
		Data: marzo 2013					
		10	010	RR	020	-0	VAR

30%. Dopo aver epurato le navi che a tale data hanno una età maggiore di 30 anni, si arriva così alla definizione della flotta al 2020 secondo quanto riportato nel successivo quadro di insieme (v. tab. B.1) che viene riportato in forma grafica nella successiva figura B.1. Anche se non con la stessa intensità le tendenze in atto non possono che far prevedere un quadro della flotta al 2020 che porta il numero delle containers dalle 3552 unità del 2005 alle 6348 del 2020, valore che implica un tasso medio di crescita pari al 4%. In tale scenario, i tre segmenti di maggiori dimensioni (sub panamax, panamax e post panamax) costituiranno circa il 58% delle unità complessive e rappresenteranno l'85% dei circa 19 milioni di TEU di capacità complessiva circolante su mare. Il segmento delle feeder appare invece in completo esaurimento con crescita nulla, cioè soggetto all'invecchiamento della relativa flotta.

	Post panamax	Panamax	Sub panamax	Handysize	Feeder max	Feeder	Totale
1995	32	238	210	467	275	285	1,507
2002	246	434	453	863	537	381	2,914
2005 circo	370	558	557	945	644	381	3,455
2005 n. o.	18	14	11	25	27	2	97
2005 unità	388	572	568	970	671	383	3,552
2005 %	11%	16%	16%	27%	19%	11%	100%
n. o. 06 - 10	273	266	179	258	160	11	1,147
2010	661	838	747	1,228	831	394	4,699
CAGR 95-05	28%	9%	10%	8%	9%	3%	9%
CAGR 02-05	16%	10%	8%	4%	8%	0%	7%
CAGR 02-10	13%	9%	6%	5%	6%	0%	6%
CAGR 05-10	11%	8%	6%	5%	4%	0%	6%
CAGR 10-20	8%	6%	4%	3%	3%	0%	4%
2011	713	885	776	1,270	856	394	4,894
2012	769	934	807	1,312	883	394	5,099
2013	830	986	839	1,357	910	394	5,315
2014	895	1,040	872	1,403	937	394	5,541
2015	965	1,098	906	1,450	966	394	5,780
2016	1,041	1,159	942	1,499	996	394	6,031
2017	1,123	1,224	979	1,550	1,026	394	6,296
2018	1,212	1,292	1,018	1,602	1,058	394	6,575
2019	1,307	1,363	1,058	1,656	1,090	394	6,869
2020	1,410	1,439	1,100	1,712	1,123	394	7,178
obsolete al 2020	5	100	142	220	158	205	830
2020 età < 30 anni	1,405	1,339	958	1,492	965	189	6,348
In %	22%	21%	15%	24%	15%	3%	100%

Tab. B.1. Quadro d'insieme del modello di previsione e delle relative ipotesi della flotta di portacontainer al 2020.

 <b>Autorità Portuale di Livorno</b>	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Studio della gestione dei materiali di dragaggio					
		Data: marzo 2013					
<b>Piano Regolatore Portuale 2012</b>		10	010	RR	020	-0	VAR

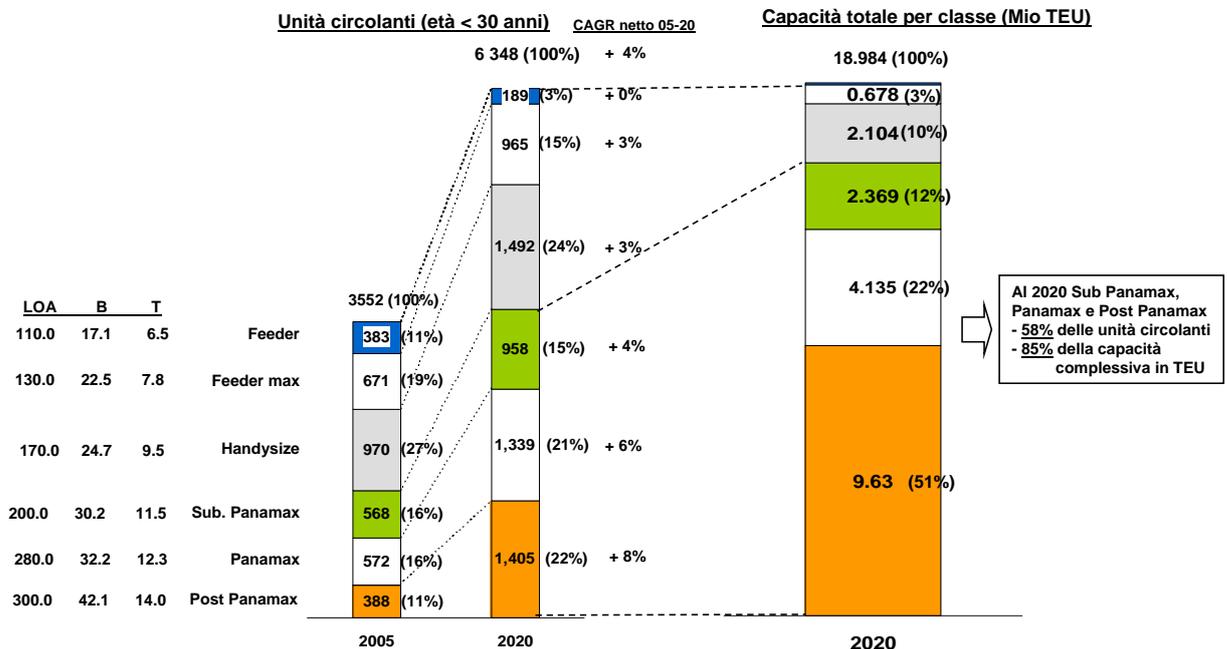


Figura B.1 - Evoluzione futura della flotta delle portacontaineri, Unità, Mio TEU, 2005 2020

Ma questo consolidamento della tendenza al gigantismo dei vettori marittimi a quale scenario di traffico corrisponderà? E' possibile ipotizzare, in uno scenario poi non troppo futuro, che le navi Panamax e Post Panamax (> 4000 TEU) percorrano le grandi rotte transoceaniche fra un porto di transhipment e l'altro, mentre le stesse Panamax, Sub Panamax ed Handysize siano destinate ad un "feederaggio" di più grande respiro, primo fra tutti il traffico all'interno del mare Mediterraneo. Dunque profondità e specchi acquei anche nei porti minori non di transhipment da adeguare almeno a navi con 10 m di immersione T e 190 m di LOA. Profondità tali da accogliere almeno navi con T = 13 m e LOA = 300 m per porti con vocazione ai traffici internazionali.

### **B.5. Caratteristiche dimensionali e di capacità delle portacontaineri**

Al fine di determinare le relazioni funzionali necessarie per definire le caratteristiche geometriche delle navi portacontaineri (immersione, lunghezza e larghezza) in funzione della loro portata (numero di TEU) si sono utilizzati i dati del registro navale Clarkson ricercando la curva che meglio li approssima con il principio dei minimi quadrati. Si sono investigate le forme

 <b>Autorità Portuale di Livorno</b> <b>Piano Regolatore Portuale 2012</b>	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Studio della gestione dei materiali di dragaggio					
		Data: marzo 2013					
		10	010	RR	020	-0	VAR

funzionali monomia  $y = ax^b$ , logaritmica  $y = a \ln(x) + b$  e lineare  $y = ax + b$ . La minimizzazione dell'  $R^2$  ha fornito la forma funzionale migliore e gli associati valori di  $a$  e di  $b$ . I risultati sono riportati nella seguente tabella.

Relazione funzionale	Flotta 1975 – 2005	$R^2$	Nuove Navi 2006-2010	$R^2$
Lunghezza FT (LOA in m) e capacità di carico (TEU)	$LOA = 12.33 TEU^{0.356}$	<b>0.94</b>	$LOA = 8.78 TEU^{0.404}$	<b>0.99</b>
Larghezza (B in m) e capacità di carico (TEU)	$B = 3.52 TEU^{0.276}$	<b>0.93</b>	$B = 3.01 TEU^{0.293}$	<b>0.97</b>
Immersione (T in m) e capacità di carico (TEU)	$T = 2.65 \ln(TEU) - 9.38$	<b>0.92</b>	$T = 2.74 \ln(TEU) - 10.26$	<b>0.95</b>

Tabella B.2 – Relazioni funzionali fra LOA, B e T e la capacità di carico in TEU

Nella derivazione di tali formule si sono tenuti separati i dati della flotta esistente al 2005 dai dati relativi alle navi costruite/ordinate ordinativi negli ultimi 5 anni, ricavando le rispettive curve interpolanti. Ciò al fine di mettere in evidenza eventuali tendenze in atto nella ingegnerizzazione dei moderni vettori marittimi portacontainers. Come si può osservare più agevolmente nelle curve riportate nelle figure B.2, B.3 E B.4, l'unica tendenza effettivamente percepibile fra l'esistente ed i nuovi ordini è quella visibile in figura B.2: a parità di LOA i nuovi vettori portacontainers presentano una maggiore capacità di carico (in TEU).

E' interessante osservare come la popolazione delle navi abbia una grossa concentrazione lungo la retta orizzontale definita dalla larghezza del canale di Panama, come si può ben apprezzare graficamente nella figura B.3.

Le figure B.2, B.3 E B.4 riportano anche la suddivisione nei segmenti dimensionali già incontrati nella definizione del parco circolante (linee verticali verdi) più l'introduzione, quasi formale ad oggi, della prevista classe di New Panamax con capacità di carico oltre ai 10000 TEU e LOA superiore ai 350 m.

 <b>Autorità Portuale di Livorno</b> <b>Piano Regolatore Portuale 2012</b>	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Studio della gestione dei materiali di dragaggio				
		Data: marzo 2013				
	10	010	RR	020	-0	VAR

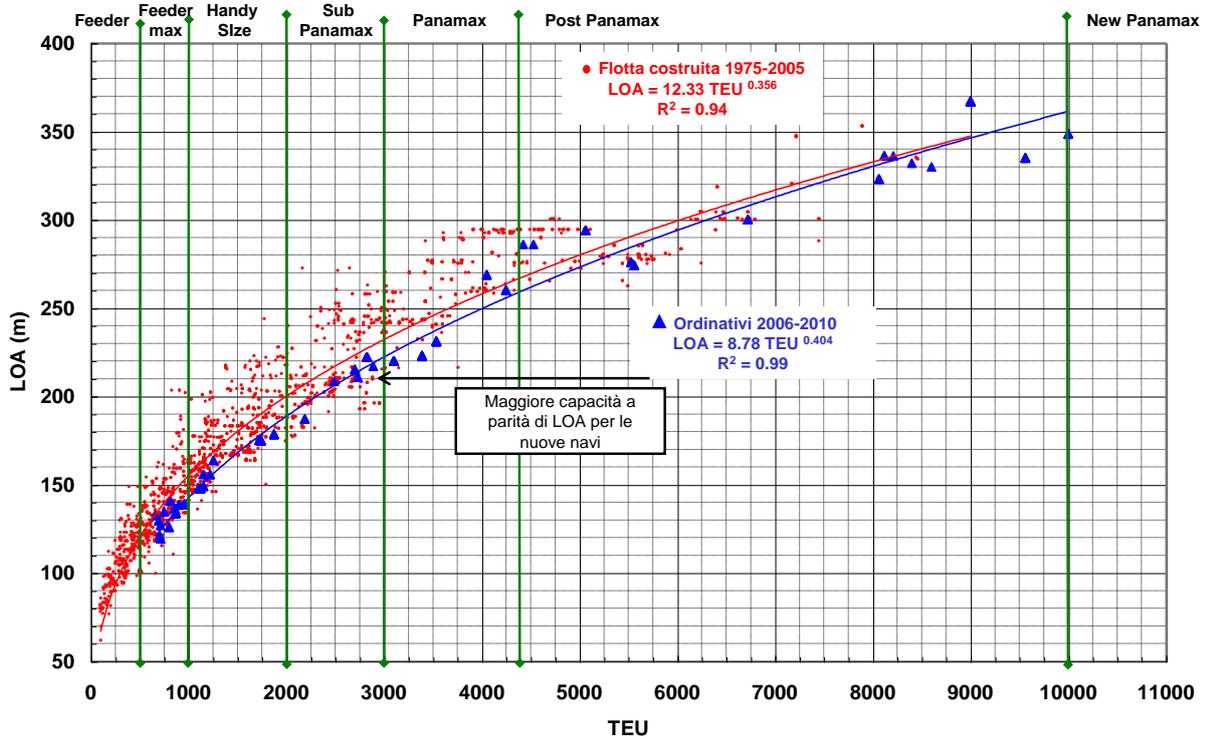


Figura B.2 - Flotta mondiale delle portacontainer, lunghezza LOA in funzione dei TEU, costruite ed ordinate, 1975-2010

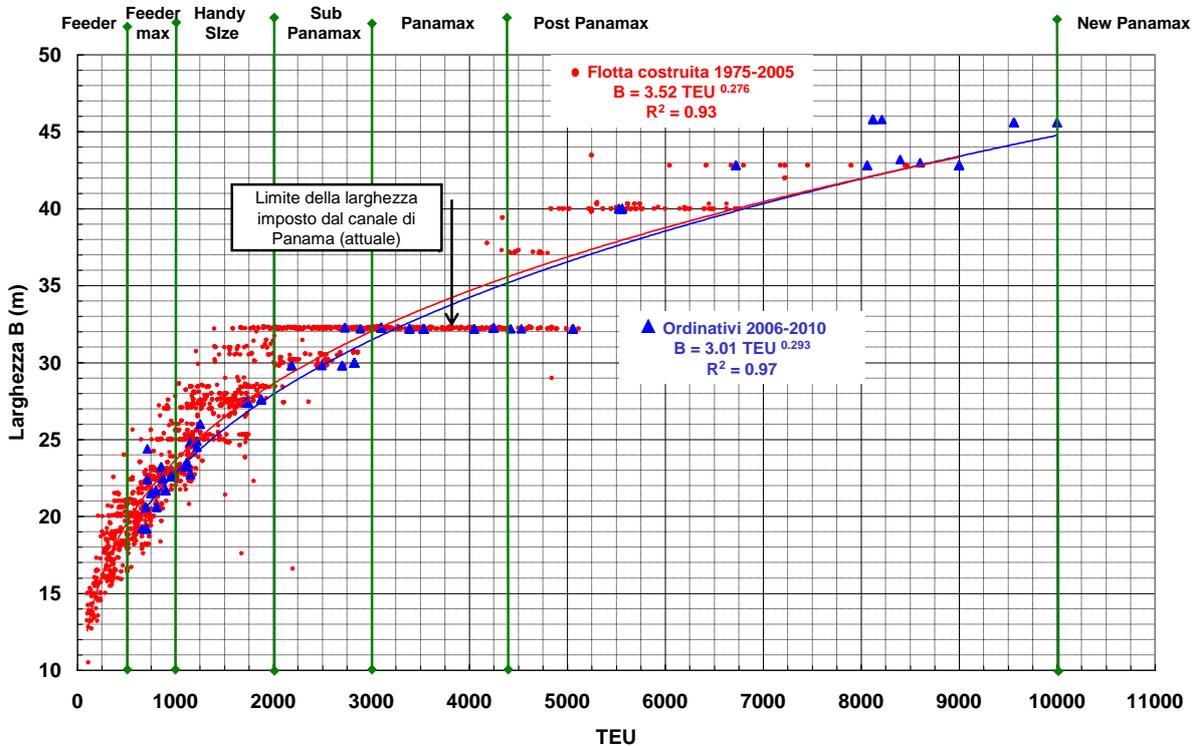


Figura B.3 - Flotta mondiale delle portacontainer, larghezza B in funzione dei TEU, costruite ed ordinate, 1975-2010

 <b>Autorità Portuale di Livorno</b> <b>Piano Regolatore Portuale 2012</b>	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Studio della gestione dei materiali di dragaggio				
	Data: marzo 2013	10	010	RR	020	-0

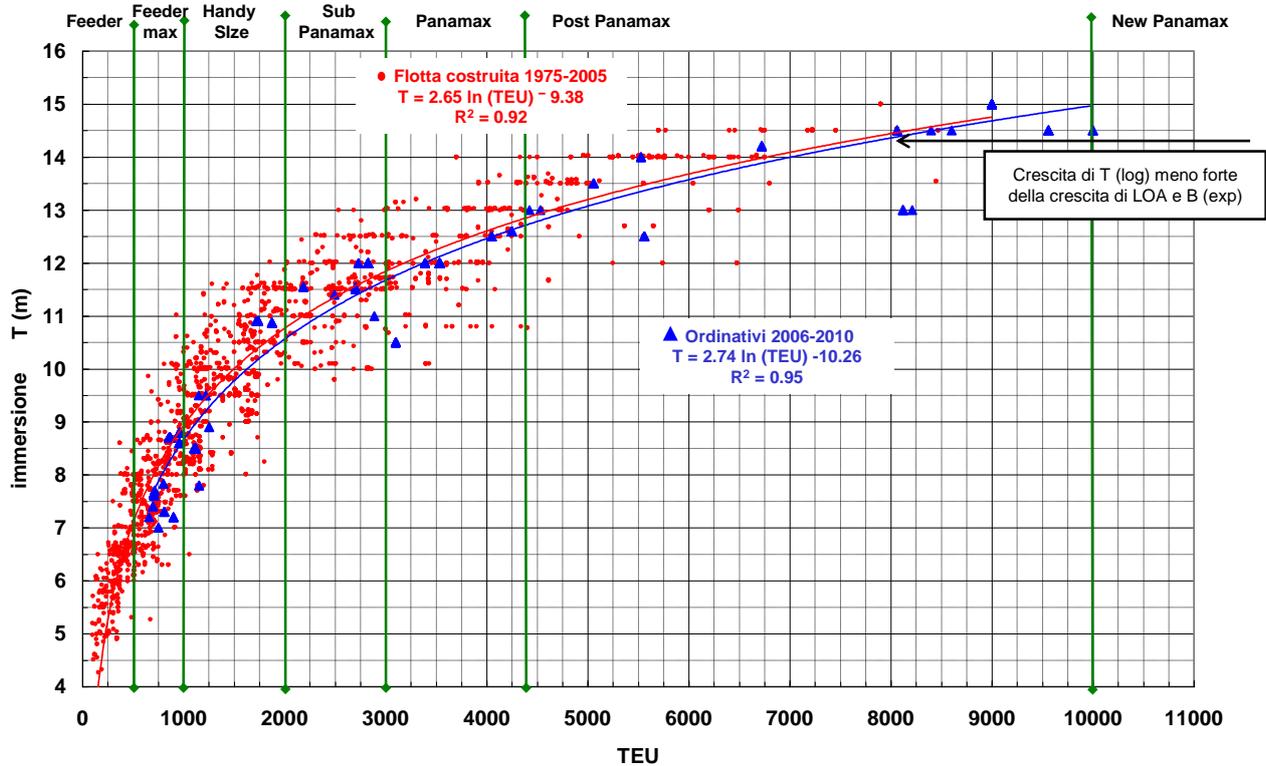


Figura B.4 - Flotta mondiale delle portacontainer, immersione T in funzione dei TEU, costruite ed ordinate, 1975-2010

Esplicitando le relazioni precedenti di tabella B.2 rispetto ai TEU è possibile ricavare relazioni dirette di LOA e B in funzione dell'immersione T. Così operando si ottiene ad esempio  $LOA = 43.47 e^{0.134 T}$  e  $B = 9.35 e^{0.104 T}$  per la flotta al 2005. Si osserva che la dipendenza funzionale fra LOA, B e T è di tipo esponenziale. Ciò è conseguenza del fatto che LOA e B dipendono da TEU con formule di tipo monomio  $y = ax^b$  mentre T dipende dai TEU con una formula di tipo logaritmico  $y = a \ln(x) + b$ . Tuttavia l'esplicitazione delle formule di tabella B.2 per ricavare correlazioni dirette amplifica gli scarti delle formulazioni di origine. Per le relazioni fra LOA, B e T si è proceduto allora a ricercare la forma funzionale migliore correlando direttamente i dati, senza "passare" per i TEU. Eseguendo la stessa procedura si è confermato che la forma esponenziale è la migliore, ma si sono determinati valori dei coefficienti che massimizzano il valore di  $R^2$ . I risultati sono riportati nella seguente tabella B.3.

 <b>Autorità Portuale di Livorno</b> <b>Piano Regolatore Portuale 2012</b>	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Studio della gestione dei materiali di dragaggio					
		Data: marzo 2013					
		10	010	RR	020	-0	VAR

Relazione funzionale	Flotta 1975 – 2005	R <sup>2</sup>	Nuove navi 2006-2010	R <sup>2</sup>
Lunghezza FT (LOA in m) e Immersione (T in m)	LOA= 49.17 e <sup>0.129 T</sup>	<b>0.91</b>	LOA = 43.42 e <sup>0.139 T</sup>	<b>0.94</b>
Larghezza (B in m) e Immersione (T in m)	B = 9.92 e <sup>0.098 T</sup>	<b>0.90</b>	B = 9.66 e <sup>0.101 T</sup>	<b>0.91</b>

Tabella B.3 – Relazioni funzionali fra LOA, B e T

Le relazioni della tabella B.3 sono riportate nelle figura B.5 E B.6 assieme alla popolazione di dati a cui si riferiscono. Si osserva, come già nel caso della dipendenza dalla capacità di carico, che le differenze fra le navi ordinate e quelle costruite in termini di relazioni fra le grandezze principali è poco apprezzabile. Pertanto nel seguito (v. tab. B.5) sono riportate le formulazioni uniche che interpolano l'insieme dei dati, sia le costruite che le ordinate.

Un'ultima classe di relazioni importanti anche ai fini della valutazione della capacità di trasporto e degli oneri di navigazione ed approdo è quella che lega la capacità in TEU alla portata lorda DWT (Deadweight Tonnage) ed alla stazza lorda GT (Gross Tonnage) (v. tabella B.4). Utilizzando la stessa base dati si sono derivate le seguenti relazioni funzionali. I relativi grafici sono riportati nelle figure B.7 E B.8.

Relazione funzionale	Navi costruite ed ordinate	R <sup>2</sup>
Capacità TEU e portata lorda DWT (ton)	DWT= 13.35 TEU	<b>0.97</b>
Portata lorda DWT (ton) e stazza lorda GT (ton eq)	GT = 0.89 DWT=11.82TEU	<b>0.97</b>

Tabella 4 – Relazioni funzionali fra TEU, GT e DWT

 <b>Autorità Portuale di Livorno</b>	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciuro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Studio della gestione dei materiali di dragaggio					
		Data: marzo 2013					
<b>Piano Regolatore Portuale 2012</b>		10	010	RR	020	-0	VAR

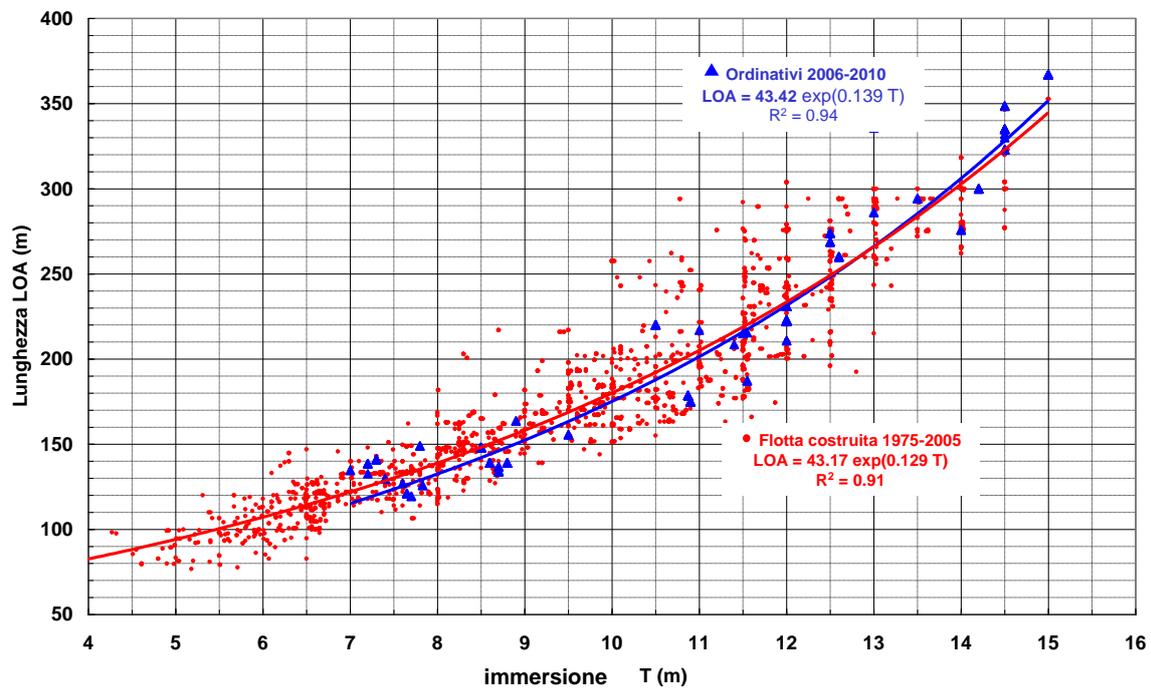


Figura B.5 - Flotta mondiale delle portacontainer, correlazione fra immersione  $T$  e lunghezza LOA, costruite ed ordinate, 1975-2010

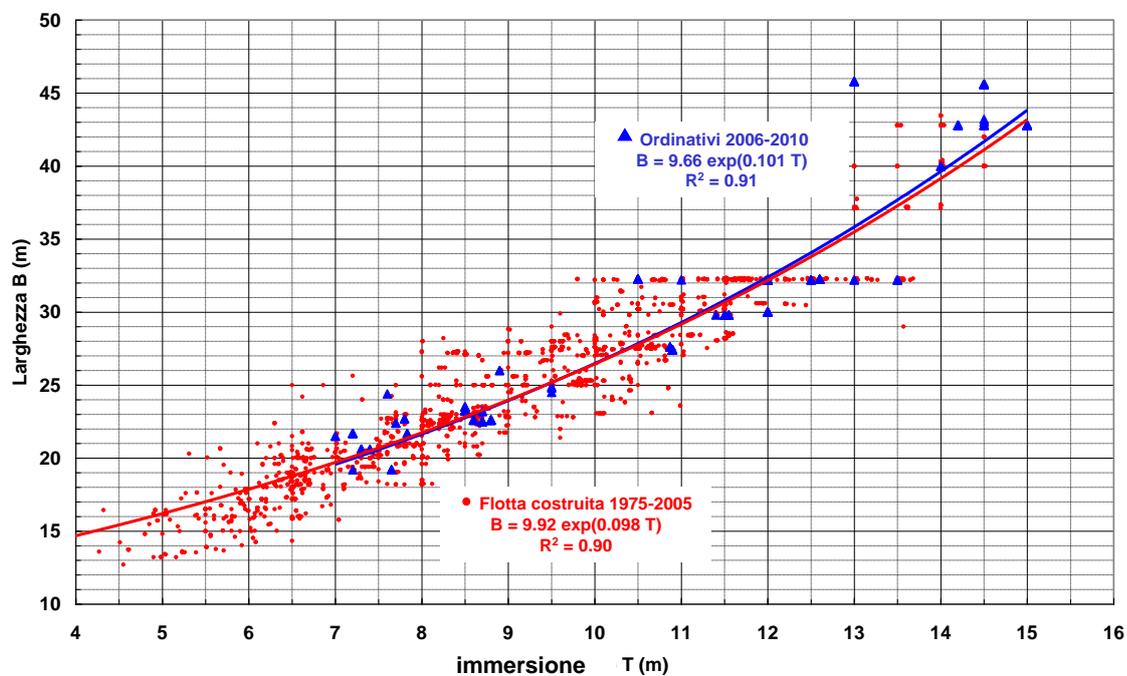


Figura B.6 - Flotta mondiale delle portacontainer, correlazione fra immersione  $T$  e larghezza  $B$ , costruite ed ordinate, 1975-2010

 <b>Autorità Portuale di Livorno</b>	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciuro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Studio della gestione dei materiali di dragaggio					
		Data: marzo 2013					
<b>Piano Regolatore Portuale 2012</b>		10	010	RR	020	-0	VAR

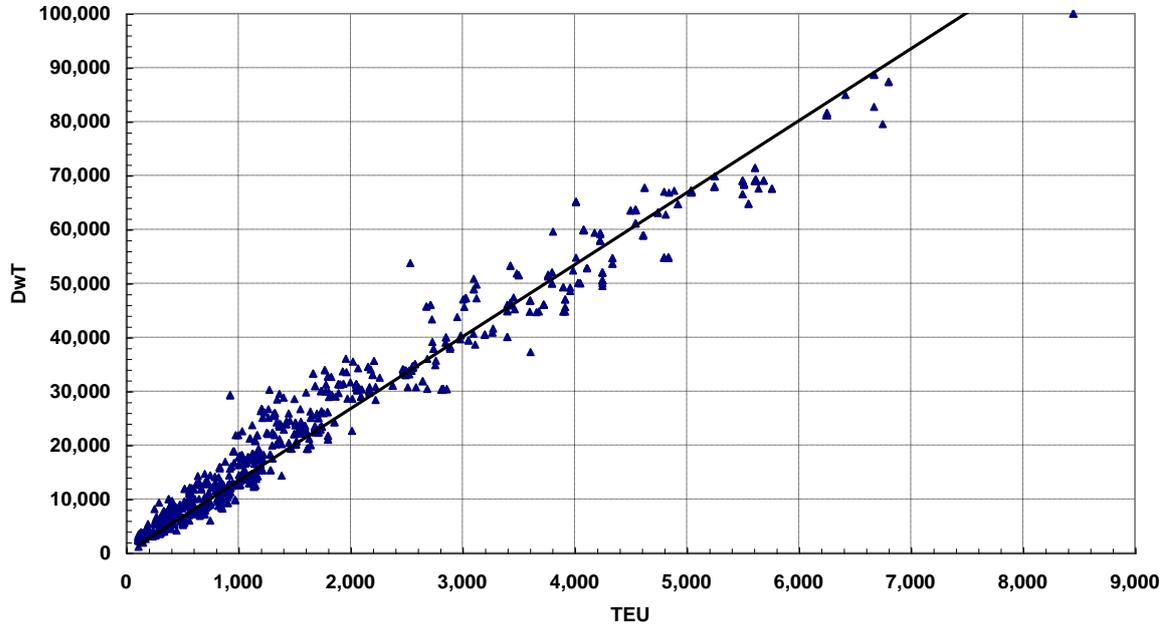


Figura B.7 - Flotta mondiale delle portacontaineri, correlazione fra portata lorda DWT(in t) e capacità in TEU

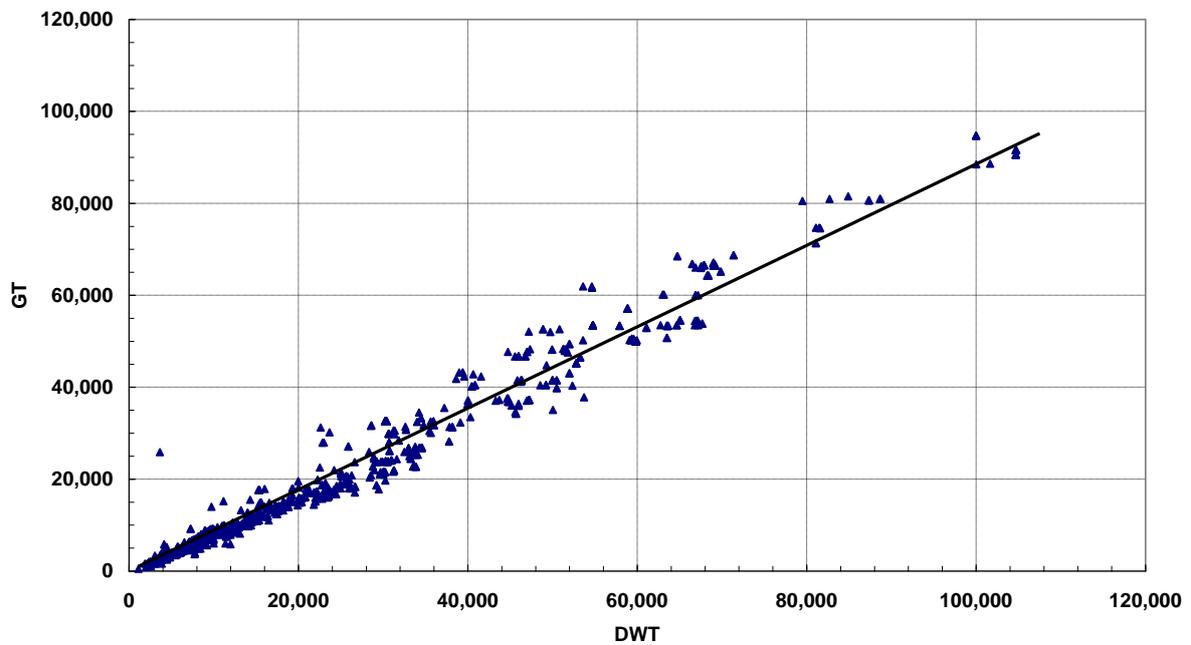


Figura B.8 - Flotta mondiale delle portacontaineri, correlazione fra stazza lorda GT (in ton eq) e portata lorda DWT (in t)

 <b>Autorità Portuale di Livorno</b> <b>Piano Regolatore Portuale 2012</b>	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Studio della gestione dei materiali di dragaggio					
		Data: marzo 2013					
		10	010	RR	020	-0	VAR

Avendo osservato l'assenza di significativi trend nell'ingegnerizzazione dei nuovi vettori in termini di grandezze geometriche e di relativa capacità di trasporto, si riportano di seguito le relazioni uniche e di riferimento utilizzate per la definizione delle caratteristiche della nave di progetto. Tali relazioni sono quindi ottenute con lo stesso approccio visto nei precedenti paragrafi, con la sola differenza che l'intera popolazione di dati è messa in relazione. Così operando si ottiene il seguente quadro riassuntivo e di riferimento.

Relazione funzionale	Porta Containers	R <sup>2</sup>
Lunghezza FT (LOA in m) e capacità di carico (TEU)	$LOA = 12.24 TEU^{0.367}$	<b>0.94</b>
Larghezza (B in m) e capacità di carico (TEU)	$B = 3.51 TEU^{0.276}$	<b>0.93</b>
Immersione (T in m) e capacità di carico (TEU)	$T = 2.65 \ln(TEU) - 9.38$	<b>0.92</b>
Lunghezza FT (LOA in m) e Immersione (T in m)	$LOA = 48.87 e^{0.130 T}$	<b>0.91</b>
Larghezza (B in m) e Immersione (T in m)	$B = 9.90 e^{0.098 T}$	<b>0.91</b>
Capacità TEU e portata lorda DWT (ton)	$DWT = 13.35 TEU$	<b>0.97</b>
Portata lorda DWT (ton) e stazza lorda GT (ton eq)	$GT = 0.89 DWT = 11.82 TEU$	<b>0.97</b>

*Tabella B.5 – Quadro riassuntivo delle formulazioni pratiche di riferimento.*

E' di interesse ai fini della quantificazione della massima nave compatibile con un assegnato fondale, confrontare anche quali dimensioni sono compatibili per la classe di vettori considerata. Infatti alle dimensioni del piano di galleggiamento (a cui il prodotto LOA x B è direttamente proporzionale) delle navi sono legate le capacità manovriere all'interno di assegnate aree portuali. Nel caso del Porto di Livorno ed in particolare della Piattaforma Europa le caratteristiche planimetriche delle opere e le dimensioni delle aree di evoluzione senza dubbio non costituiscono vincolo superiore alla dimensione della max nave che può entrare. In altre parole, le navi con un' immersione compatibile con l'approfondimento dei fondali a -16.00 m nel bacino interno destinato alle porta contenitori risultano compatibili in termini di piano di galleggiamento (non troppo lunghe e/o non troppo larghe per manovrare).

Alcuni valori medi di riferimento sono riportati nella tabella B.6.

 <b>Autorità Portuale di Livorno</b> <b>Piano Regolatore Portuale 2012</b>	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Studio della gestione dei materiali di dragaggio					
		Data: marzo 2013					
		10	010	RR	020	-0	VAR

<b>Porta Containers</b>				
<b>T (m)</b>	<b>LOA (m)</b>	<b>B (m)</b>	<b>TEU</b>	<b>DWT</b>
<b>10.5</b>	195	28.0	1 811	24183
<b>11.5</b>	223	30.9	2 642	35 269
<b>12.5</b>	254	34.1	3 853	51 437
<b>13.5</b>	290	37.7	5 619	75 018
<b>14.5</b>	331	41.6	8 195	109 408
<b>15.0</b>	360	43.0	9.000	120.150

*Tabella B.6 – Valori di riferimento delle caratteristiche geometriche e di capacità di trasporto in funzione dell’immersione T delle navi containers.*

Nel capitolo sulla previsione della flotta futura si è osservato come più dei tre quarti della capacità complessiva mondiale al 2020 viaggerà su navi con pescaggi superiori agli 11-13 m.

L’implicazione in termini di infrastrutture portuali è fortissima, specialmente in un contesto sempre più competitivo: i grandi operatori di logistica possono scegliere di installare i propri hub e centri operativi nei porti che sapranno offrire le migliori caratteristiche di funzionalità. La prima e forse scontata già oggi di queste caratteristiche di funzionalità è quindi la sufficienza della profondità per accogliere le navi.

Pertanto come stima d’insieme si sono valutate le curve cumulate delle unità navali porta container e delle relative capacità.

In figura B.9 sono riportate le curve cumulate delle unità navali (nero- cerchio) e della capacità (verde - triangoli) in funzione dell’immersione (o pescaggio)T, costruite ed ordinate dal 1975 al 2010.

 <b>Autorità Portuale di Livorno</b>	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Studio della gestione dei materiali di dragaggio					
		Data: marzo 2013					
<b>Piano Regolatore Portuale 2012</b>		10	010	RR	020	-0	VAR

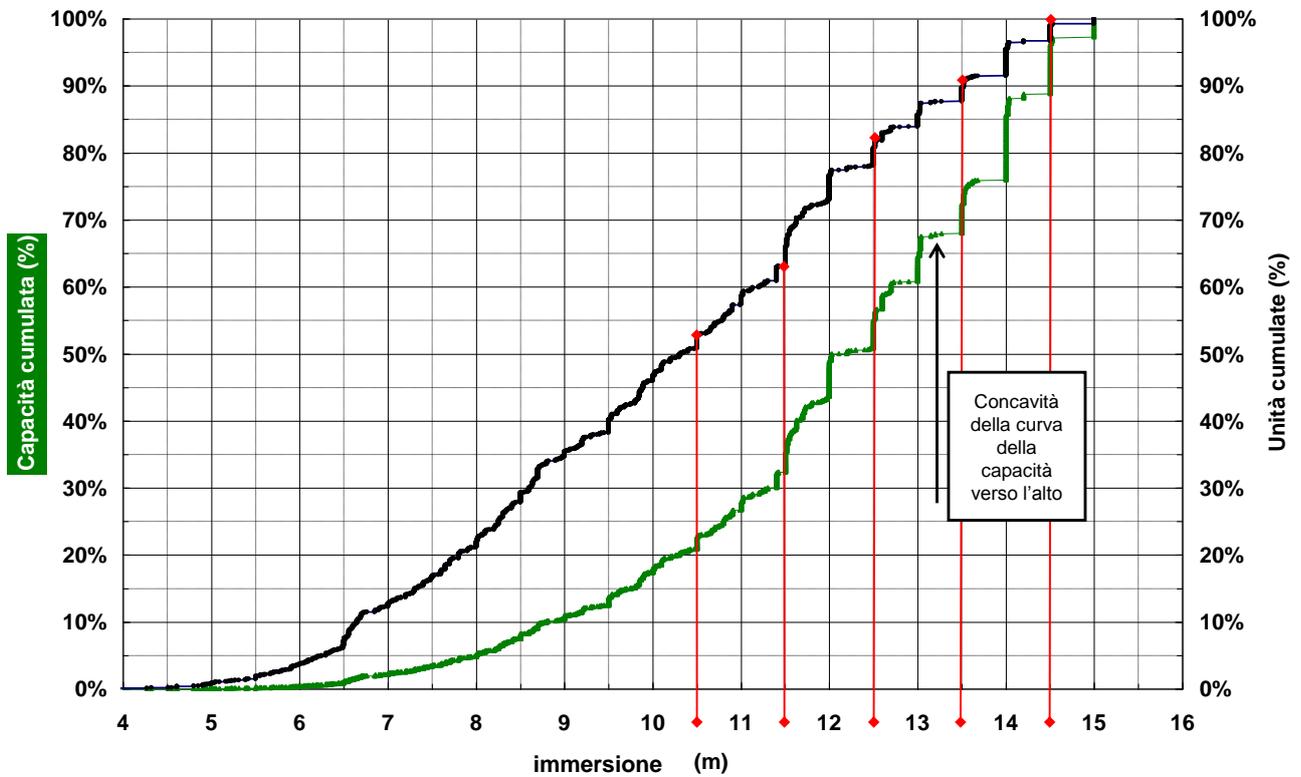


Figura B.9 - Curve cumulate delle unità navali porta contenitori (nero circ) e della capacità % (verde triang) in funzione dell'immersione T, costruite ed ordinate, 1975-2010. Capacità misurata in TEU.

Si osserva che fino a circa 10 m la curva della capacità complessiva cresce molto meno delle unità. Ma per valori maggiori (intorno a 12-14m) la capacità cresce molto di più delle unità: il guadagno marginale di un porto, inteso come capacità potenziale a cui un porto che ospita una data immersione massima di nave può "accedere", permettendo un metro di immersione incrementale è enorme. Questo è visibile quantitativamente negli incrementi di capacità mostrati nella tabella B.7 che segue. Ai valori della prima colonna corrispondono le cinque righe verticali rosse della figura B.9.

 <b>Autorità Portuale di Livorno</b> <b>Piano Regolatore Portuale 2012</b>	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Studio della gestione dei materiali di dragaggio					
		Data: marzo 2013					
		10	010	RR	020	-0	VAR

Pescaggio (T)	TEU Cumulata %	Unità Cumulata %
10.5	23%	53%
11.5	35%	66%
12.5	55%	81%
13.5	72%	90%
14.5	96%	99%
15.0	100%	100%

*Tabella B.7 – crescita in termini di unità e capacità cumulata al crescere dell’immersione delle navi porta containers*

Ad esempio se accogliendo navi con immersione pari a 11.5 m (come da PRP vigente del Porto di Livorno) si accede ad una capacità cumulata in TEU del 35%, prevedendo invece di accogliere navi portacontainers di immersione pari a 15m si “accede” al 100% della capacità cumulata delle merci in containers. Le navi in più sono il 34 % ma la capacità in più è del 65%.

 <b>Autorità Portuale di Livorno</b> <b>Piano Regolatore Portuale 2012</b>	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciuro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Studio della gestione dei materiali di dragaggio					
		Data: marzo 2013					
		10	010	RR	020	-0	VAR

### C. EVOLUZIONE DELLE CARATTERISTICHE DELLA FLOTTA MONDIALE DI NAVI RO-RO PAX

Nel presente capitolo vengono riportati i risultati delle analisi eseguite per definire un quadro aggiornato delle navi Ro-Ro passeggeri (Ro-Ro Pax). A tale categorie di navi, che consentono di trasportare merci su gomma e passeggeri, appartengono le navi traghetto (ferry, cruise ferry), i traghetti veloci (fast ferry, fast cruise ferry) ed i traghetti superveloci (high-speed craft). La velocità di crociera dei traghetti veloci è pari a circa 28-30 nodi, mentre quella dei traghetti superveloci (costituiti essenzialmente da catamarani) è di circa 40 nodi.

Per avere un quadro aggiornato delle navi ro-ro pax presenti sul mercato è stato condotto un censimento delle caratteristiche delle flotte delle maggiori compagnie. In questo caso sono state prese in esame le compagnie che operano nel Mediterraneo e nel Nord Europa. Il censimento ha consentito di individuare un campione di circa 90 navi le cui caratteristiche sono state analizzate statisticamente.

Le compagnie prese in esame sono di seguito riportate:

- Grimaldi;
- Tirrenia;
- Grandi Navi Veloci;
- Moby Line;
- Anek Lines;
- DiMaioliLines;
- HML Ferries;
- Minoan Lines;
- Superfast Ferries;
- Acciona Tramediterranea;
- Brittany Ferries;
- Color Line;
- DFDS Seaways;
- Société Nationale Maritime Corse Méditerranée;
- P&O North Sea Ferries;

 <b>Autorità Portuale di Livorno</b>	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Studio della gestione dei materiali di dragaggio					
		Data: marzo 2013					
<b>Piano Regolatore Portuale 2012</b>		10	010	RR	020	-0	VAR

- Finlines;
- Corsica Sardinia Ferries.

Il censimento è stato completato anche grazie alle informazioni derivanti dai cantieri navali, quali quelli della Aker Yards, della Alstom Marine, dei “Chantiers de L’Atlantique”, della Fincantieri e dei Nuovi Cantieri Apuani in Italia.

Tenendo conto delle lunghezze degli accosti destinati alle navi ro-ro e ro-ro-pax NELLA Piattaforma Europa, il censimento è stato orientato a definire le caratteristiche dei traghetti di grandi e di medie dimensioni. Pertanto, sono state considerate solamente le navi caratterizzate da una lunghezza fuori tutto superiore a 100 m.

Inoltre, si è scelto di considerare nel campione di navi da analizzare solamente quelle di prossima costruzione (v. tabella C.1) e quelle costruite o completamente ristrutturata dal 1995 ad oggi. In questo modo il campione di navi selezionate ci consente di analizzare non solo la situazione attuale ma anche quella futura su un orizzonte temporale di breve termine.

A riguardo si osserva che le navi completamente ristrutturate dal 1995 ad oggi ammontano a circa il 15% del campione selezionato e sono entrate in servizio per la prima volta tra la metà degli anni '60 e la fine degli anni '80. Tale aspetto è stato riscontrato anche per le navi da crociera, ma in minima percentuale e soprattutto per le navi di piccole e medie dimensioni.

I parametri considerati per definire le caratteristiche di ciascuna nave sono i seguenti:

- stazza lorda (t)
- lunghezza fuori tutto (L),
- larghezza a quota medio mare (B),
- pescaggio (d),
- numero massimo di passeggeri.
- numero massimo di auto.

Il risultato delle analisi del campione di navi selezionate è sintetizzato dai grafici delle figure riportate nel seguito. In particolare, nelle figure C.1-C.2-C.3-C.4-C.5-C.6 sono riportati i valori dei parametri sopra elencati in funzione dell’anno di inizio attività di ciascuna nave.

Per le navi traghetto si evidenzia la tendenza a non immettere sul mercato navi sempre più grandi e in grado di ospitare sempre più passeggeri. Ciò è dovuto al fatto che le navi traghetto

 <b>Autorità Portuale di Livorno</b> <b>Piano Regolatore Portuale 2012</b>	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Studio della gestione dei materiali di dragaggio					
		Data: marzo 2013					
		10	010	RR	020	-0	VAR

effettuano dei servizi di collegamento. Pertanto, ciascuna linea di collegamento deve essere servita da navi con caratteristiche tali da renderla redditizia.

Ciò lo dimostra anche il fatto che il numero di passeggeri, di auto ed il loro reciproco rapporto (numero di passeggeri per ogni auto imbarcata) per le navi immesse nel mercato dal 1995 ad oggi o in corso di costruzione risulta estremamente variabile (v. figura C.7).

*Tabella C.1 - Caratteristiche delle navi costruite recentemente*

COMPAGNIA	NOME NAVE	ANNO	STAZZA (t)	L (m)	B (m)	d (m)	Num. Max passeggeri	Num. Max auto
Grandi Navi Veloci	TENACIA	2008	23,000	202.0	27.0	*	400	*
GRIMALDI	Cruise Barcellona	2008	47,000	225.0	30.4	7.0	2300	215
Brittany Ferries	Armorique	2008	*	167.0	26.8	*	1500	470
GRIMALDI	Cruise Roma	2007	47,000	225.0	30.4	7.0	2300	215
Grandi Navi Veloci	Audacia	2007	23,000	202.0	27.0	*	400	*
Grandi Navi Veloci	Coraggio	2007	24,950	199.1	26.6	6.4	2635	500
Moby Line	Moby Otta	2007	21,000	185.0	27.0	6.3	1900	500
Moby Line	Moby Tommy	2007	28,000	212.0	25.0	6.8	2200	1000
Moby Line	Moby Easy	2007	*	186.0	25.0	*	1000	200
Color Line	Color Magic	2007	74,600	223.9	35.0	6.8	2750	750

\* dato non disponibile

 <b>Autorità Portuale di Livorno</b> <b>Piano Regolatore Portuale 2012</b>	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Studio della gestione dei materiali di dragaggio					
		Data: marzo 2013					
		10	010	RR	020	-0	VAR

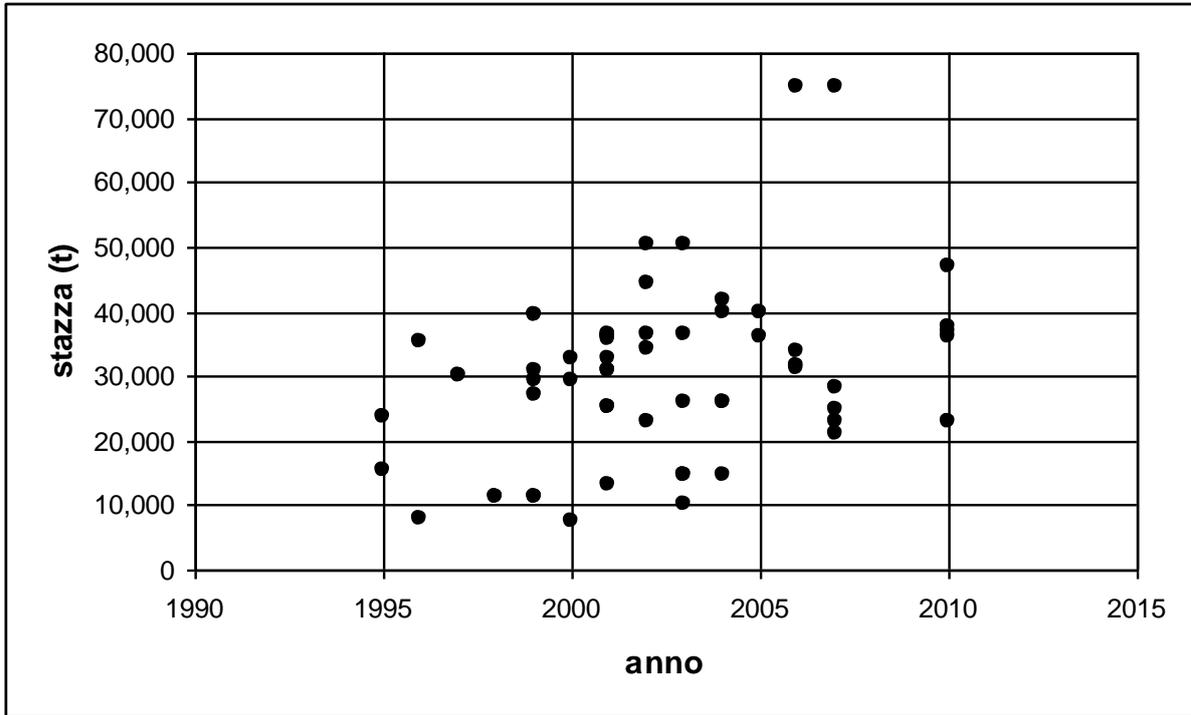


Figura C.1 - Stazza delle navi traghetto entrate in servizio dal 1995 e in costruzione

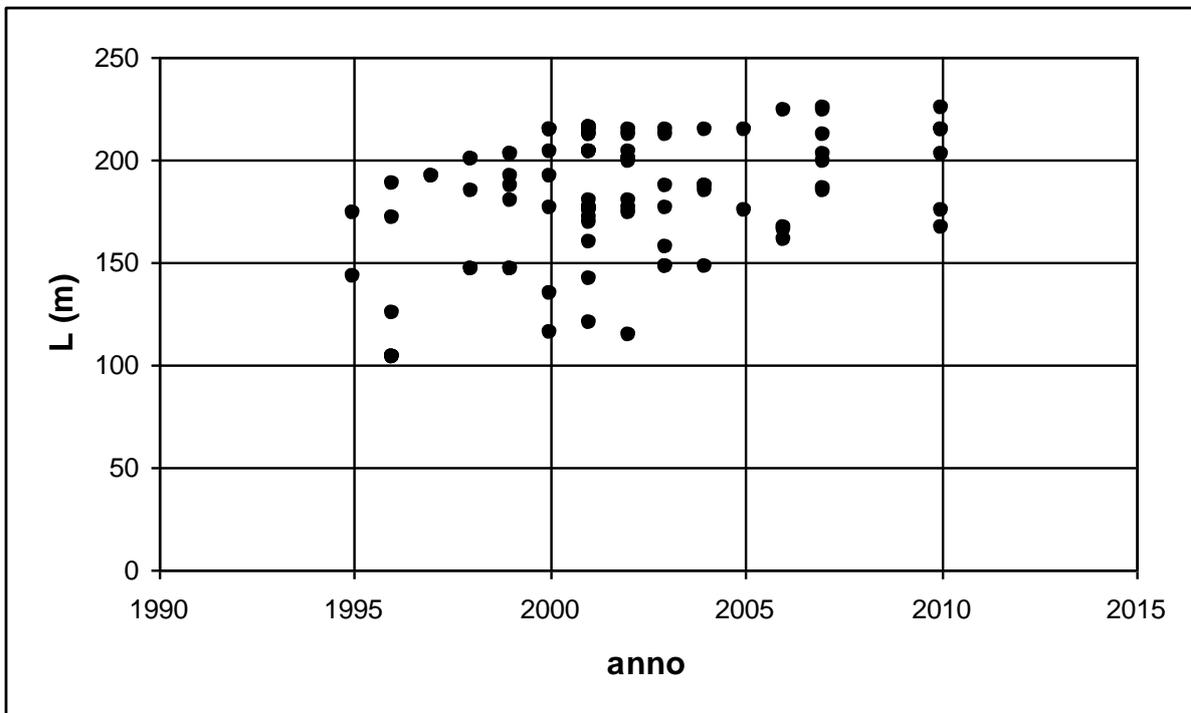


Figura C.2 - Lunghezza delle navi traghetto entrate in servizio dal 1995 e in costruzione

 <b>Autorità Portuale di Livorno</b> <b>Piano Regolatore Portuale 2012</b>	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Studio della gestione dei materiali di dragaggio					
		Data: marzo 2013					
		10	010	RR	020	-0	VAR

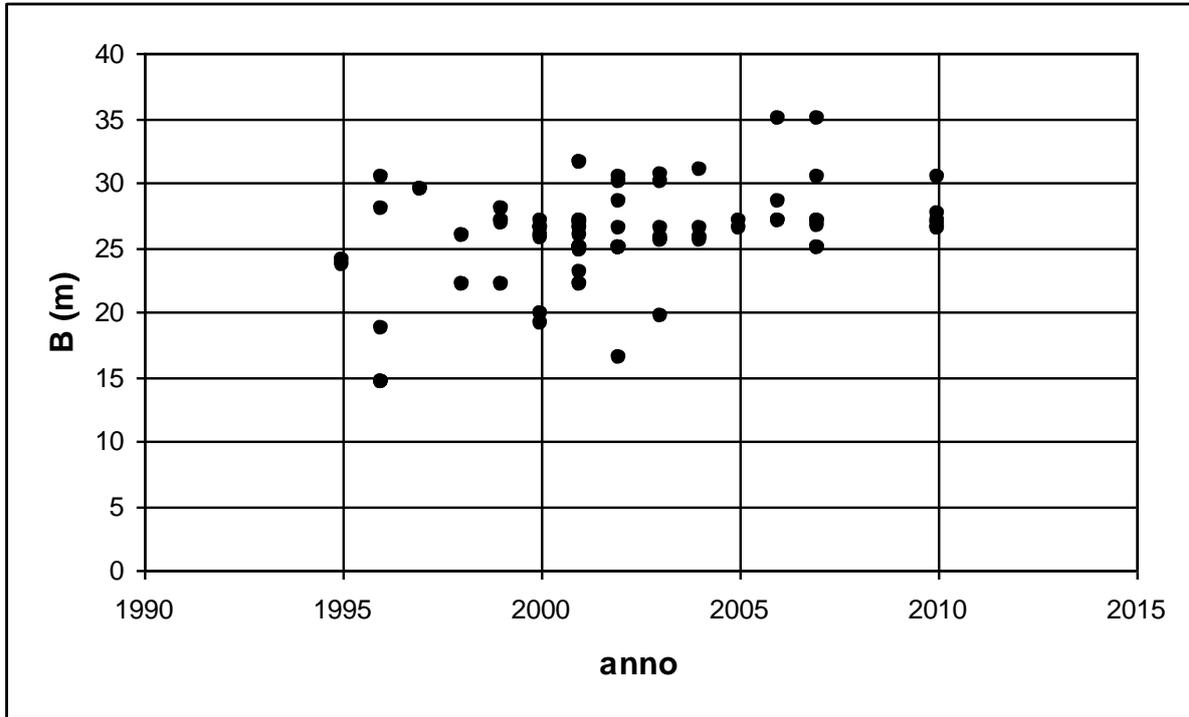


Figura C.3 - Larghezza delle navi traghetto entrate in servizio dal 1995 e in costruzione

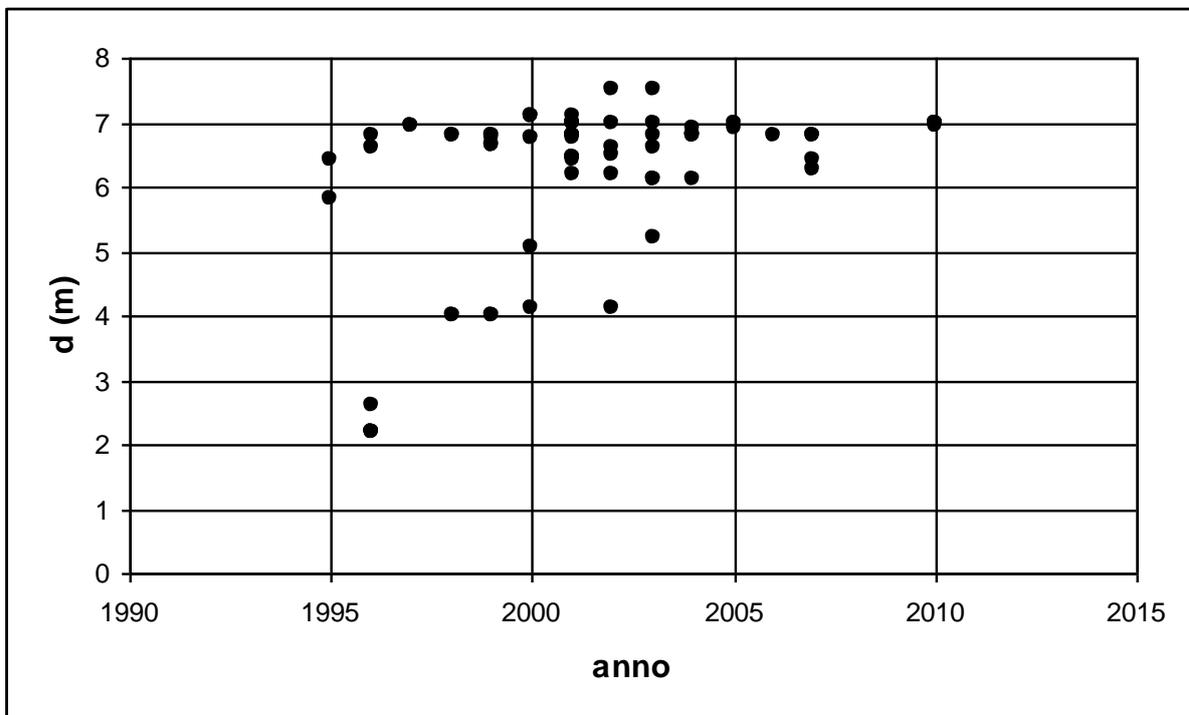


Figura C.4 - Pescaggio delle navi traghetto entrate in servizio dal 1995 e in costruzione

 <b>Autorità Portuale di Livorno</b> <b>Piano Regolatore Portuale 2012</b>	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Studio della gestione dei materiali di dragaggio					
		Data: marzo 2013					
		10	010	RR	020	-0	VAR

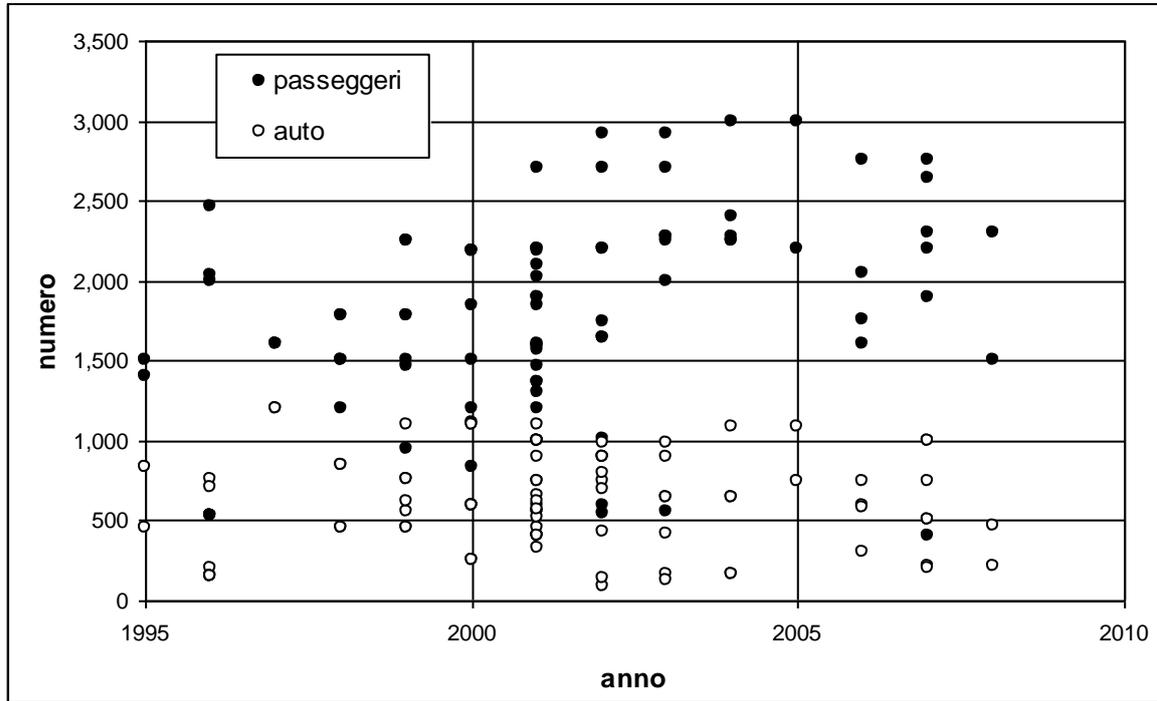


Figura C.5 - Numero massimo dei passeggeri e delle auto delle navi traghetto entrate in servizio dal 1995 e in costruzione

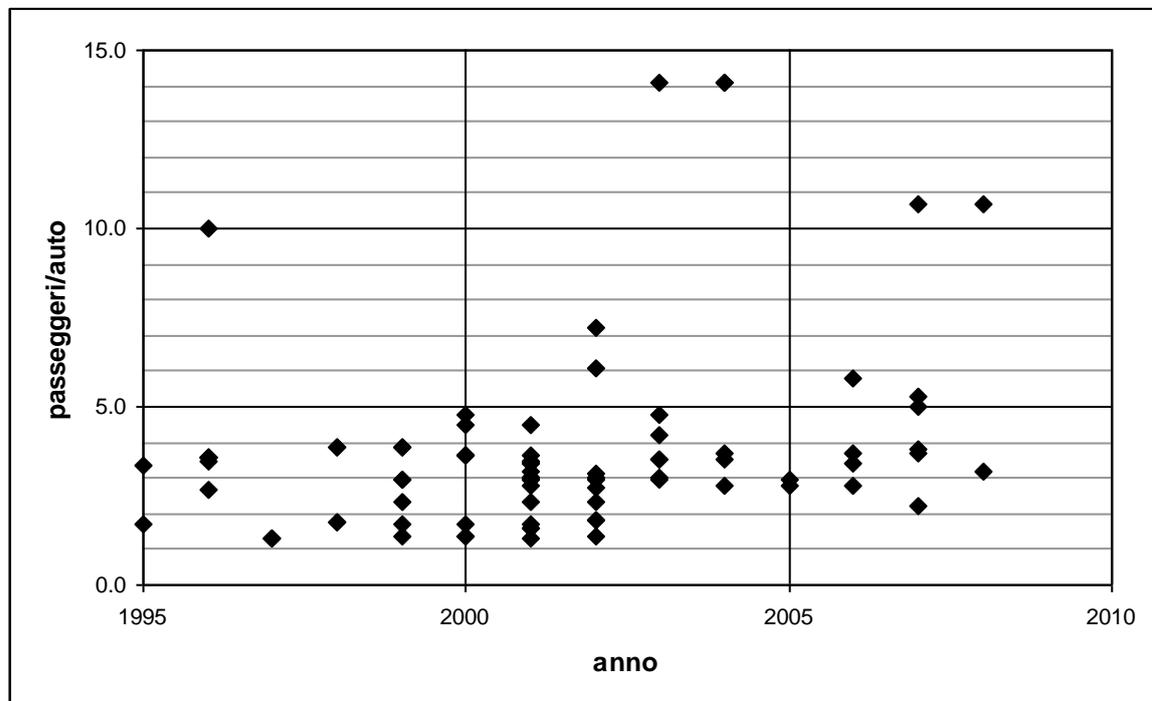


Figura C.6 - Rapporto tra il numero massimo dei passeggeri e le auto delle navi traghetto entrate in servizio dal 1995 e in costruzione

 <b>Autorità Portuale di Livorno</b> <b>Piano Regolatore Portuale 2012</b>	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Studio della gestione dei materiali di dragaggio					
		Data: marzo 2013					
		10	010	RR	020	-0	VAR

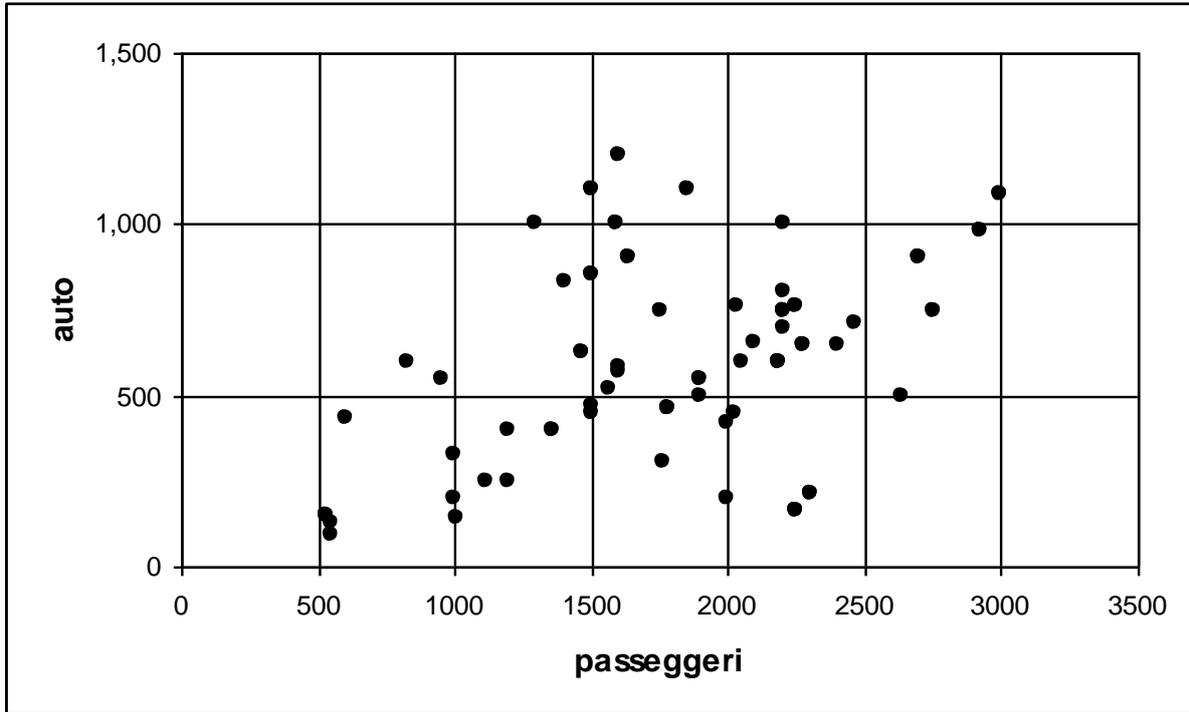


Figura C.7 - Numero massimo delle automobili in funzione del numero massimo di passeggeri per le navi traghetto selezionate

Dall'analisi dei grafici non emerge un trend evolutivo delle navi traghetto sia in termini di grandezze geometriche che di capacità di trasporto.

In pratica una lunghezza di 240 m, una larghezza di 35 m ed un pescaggio di 8.0 m sono ormai da diversi anni le dimensioni limite delle navi traghetto che vengono costruite per il servizio all'interno del Mediterraneo.

 <b>Autorità Portuale di Livorno</b> <b>Piano Regolatore Portuale 2012</b>	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo Elaborato: Studio della gestione dei materiali di dragaggio					
		Data: marzo 2013					
		10	010	RR	020	-0	VAR

#### D. GLOSSARIO

- TEU - Twenty-feet Equivalent Unit ; è la dimensione del container più piccolo di altezza 2.44 m (8ft), larghezza 2.44 m (8ft) e lunghezza 6.10 m (20 ft appunto)
  
- GT – Stazza lorda (Gross Tonnage). Fino al 1994 indicata come Gross Register Tonnage, è il volume totale di tutti i locali permanentemente chiusi al di sopra ed al di sotto del piano di coperta di una nave, esclusi i locali non produttivi quali quelli adibiti al pilotaggio, al carteggio,...Per la precisione la differenza fra GRT e GT è che la GT misura gli spazi produttivi chiusi partendo dall'esterno della struttura navale; come tale la GT è sempre maggiore del GRT.  
L'unità di misura, volumetrica, è quella della tonnellata equivalente pari a  $100\text{ft}^3 = 2.83 \text{ m}^3$
  
- DWT – Portata Lorda (Deadweight Tonnage). Differenza in peso fra la nave a pieno carico e la nave allestita e varata. E' il dislocamento della merce trasportata. Si misura in tonnellate.
  
- LOA – Lunghezza fuori tutto (Lenght Over All). Distanza orizzontale misurata fra due rette verticali che si appoggiano l'una all'estrema poppa e l'altra all'estrema prua.
  
- B – Larghezza (Beam). Massima distanza fra le due fiancate della nave.
  
- T – Immersione o pescaggio (Draft o Draught). Massima distanza verticale fra la linea di galleggiamento e la chiglia.