AUTORITÀ PORTUALE DI SAVONA

PORTO DI VADO LIGURE

PROJECT FINANCING PER:

PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA, ESECUZIONE DEI LAVORI DELLA NUOVA PIASTRA MULTIFUNZIONALE DEL PORTO DI VADO LIGURE E GESTIONE DELLA PARTE RELATIVA AL TERMINAL CONTENITORI

SOCIETÀ DI PROGETTO: APM TERMINALS VADO LIGURE S.p.A.

MAERSK

CLF GRANDI LAVORI FINCOSIT

PROGETTAZIONE:

TECHNITAL S.p.A.

IL RESPONSABILE:

Dott. Ing. Guido Fiorini

PERIZIA DI VARIANTE

ELABORATO N° :

TITOLO ELABORATO

ELABORATI GENERALI

VERIFICA DELLE AREE E DEI FONDALI PER LA MANOVRA E L'ORMEGGIO DELLE NAVI

RELAZIONE DI CALCOLO

MI0102-PV-G-L-R-006-00

DATA	ELABORATO	CONTROLLATO	APPROVATO
Dicembre 2015	A. Monarcha	A. Lizzadro	G. Fiorini

REVISIONE N°	DATA	DESCRIZIONE
00	Dicembre 2015	EMISSIONE PER APPROVAZIONE

NOME FILE

MI0102-PV-G-L-R-006-00.docx

A TERMINE DI LEGGE CI RISERVIAMO LA PROPRIETA' DI QUESTO ELABORATO CON DIVIETO DI RIPRODURLO RENDENDOLO NOTO A TERZI ANCHE PARZIALMENTE SENZA NOSTRA AUTORIZZAZIONE

AUTORITÀ PORTUALE DI SAVONA

PORTO DI VADO LIGURE

PROJECT FINANCING PER:

PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA, ESECUZIONE DEI LAVORI DELLA NUOVA PIASTRA MULTIFUNZIONALE DEL PORTO DI VADO LIGURE E GESTIONE DELLA PARTE RELATIVA AL TERMINAL CONTENITORI

PERIZIA DI VARIANTE

ELABORATI GENERALI

VERIFICA DELLE AREE E DEI FONDALI PER LA MANOVRA E L'ORMEGGIO DELLE NAVI

RELAZIONE DI CALCOLO

INDICE

1. PREMESSA 7
2. LAYOUT DI RIFERIMENTO E NAVI DI PROGETTO 8
3. VERIFICA DEI FONDALI NELLE AREE DI MANOVRA PER LA NAVIGAZIONE 16
   3.1. Introduzione 16
   3.2. Livello marino di riferimento 17
   3.3. Franco netto sottochiglia minimo 17
   3.4. Squat 18
   3.5. Sbandamento dinamico dovuto al vento 35
   3.6. Movimenti verticali per effetto del moto ondoso 36
   3.7. Definizione dei franchi lordi minimi e verifica dei fondali di progetto 41
4. VERIFICA DELLE AREE PER LA MANOVRA DELLE NAVI 43
   4.1. Introduzione 43
   4.2. Condizioni meteomarine considerate durante le manovre 45
   4.3. Elenco ed esiti delle manovre eseguite 46
   4.4. Verifica delle aree di manovra 49
5. VERIFICA DEI FONDALI ALL'ORMEGGIO IN BANCHINA 52
   5.1. Introduzione 52
   5.2. Livello marino di riferimento 53
   5.3. Franco netto sottochiglia minimo 53
   5.4. Massimi spostamenti verticali delle navi in banchina 54
      5.4.1. Analisi eseguite con il modello OPTIMOOR 54
      5.4.2. Risultati delle analisi eseguite con il modello OPTIMOOR 55
   5.5. Definizione dei franchi lordi minimi e verifica dei fondali di progetto 57
   5.6. Verifica dei franchi sottochiglia di progetto per le navi all'ormeggio 58
      5.6.1. Accosto A e B - Container 58
      5.6.2. Accosto C - Rinfuse 69
      5.6.3. Accosto D - Petroli 74

ELENCO FIGURE

Fig. 2.1 - Schema planimetrico del nuovo Terminal: assegnazione delle banchine alle diverse categorie di trasporto 8
Fig. 2.2 - Planimetria delle opere e dei fondali nell'area portuale 9
Fig. 3.1 - Parametri caratteristici della nave 18
Fig. 3.2 - Configurazioni delle dei canali/aree di manovra 19
Fig. 3.3- Gradi di libertà di movimento della nave che galleggia liberamente 37
Fig. 3.4- Movimenti della nave che ne influenzano il pescaggio (PIANC Report no. 121-2014) 38
Fig. 4.1 - Configurazione delle opere con figa foranea come da PRP 44
Fig. 4.2 - Configurazione delle opere con diga foranea di prima fase 44
Fig. 4.3 - Inviluppo della rotta tenuta dalla portacontainer Emma Maersk in accosto presso la banchina A - Simulazione M02 50
Fig. 4.4 - Manovra di accosto per la nave rinfuse - M23 51
Fig. 4.5 - Manovra di disormeggio per la nave rinfuse - M24 51
Fig. 5.1 - Sezioni trasversali critiche della carena della nave Emma Maersk 60
Fig. 5.2 - Accosto A - Posizione della nave Emma Maersk con evidenziate le sezioni trasversali critiche della carena 61
Fig. 5.3 - Accosto A – Sezione critica della nave Emma Maersk allibata (pescaggio -13,75 m) : franco di sicurezza sottochiglia. 62
Fig. 5.4 - Accosto B - Posizione della nave Emma Maersk con evidenziate le sezioni trasversali critiche della carena 63
Fig. 5.5 - Accosto b , tratto sezione tipo B – Sezione critica della nave Emma Maersk a pieno carico (pescaggio -16,00 m) : franco di sicurezza sottochiglia. 64
Fig. 5.6 - Accosto B, tratto sezione tipo C - Sezione critica della nave Emma Maersk a pieno carico (pescaggio -16,00 m): franco di sicurezza sottochiglia. 65
Fig. 5.7 - Accosto B, tratto sezione tipo D - Sezione critica della nave Emma Maersk a pieno carico (pescaggio -16,00 m): franco di sicurezza sottochiglia. 66
Fig. 5.8 - Accosto B, tratto sezione tipo E - Sezione critica della nave Emma Maersk a pieno carico (pescaggio -16,00 m): franco di sicurezza sottochiglia. 67
Fig. 5.9 - Accosto B, tratto sezione tipo F – Sezione critica della nave Emma Maersk a pieno carico (pescaggio -16,00 m): franco di sicurezza sottochiglia. 68
Fig. 5.10 - Accosto C, tratto sezione tipo G – Sezione critica della nave Jo Jin Maru allibata (pescaggio -13,50 m): franco di sicurezza sottochiglia. 70
Fig. 5.11 - Accosto C, tratto sezione tipo G – Sezione critica della nave Jo Jin Maru a pieno carico (pescaggio -14,60 m): franco di sicurezza sottochiglia. 71

Fig. 5.12 - Accosto C, tratto sezione tipo H – Sezione critica della nave Jo Jin Maru allibata (pescaggio -13,50 m): franco di sicurezza sottochiglia. 72
Fig. 5.13 - Accosto C, tratto sezione tipo H – Sezione critica della nave Jo Jin Maru a pieno carico (pescaggio -14,60 m): franco di sicurezza sottochiglia. 73
Fig. 5.14 - Accosto D, tratto sezione tipo M – Sezione critica della nave Ottomana a pieno carico (pescaggio -9,96 m): franco di sicurezza sottochiglia. 75

ELENCO TABELLE

Tab. 2.1 - Banchina portacontenitori - Banchina A 12
Tab. 2.2 - Banchina portacontenitori - Banchina B 13
Tab. 2.3 - Banchina rinfuse - Banchina C 14
Tab. 2.4 - Banchina Petroli - Banchina D 15
Tab. 3.1- Campi di applicazione delle formule empiriche per la valutazione dello squat - PIANC Report no.121-2014. 21
Tab. 3.2 - Calcolo dello squat per la nave Emma Maersk (pescaggio 13,75 m) in manovra nell'area dragata in radice della banchina container 23
Tab. 3.3 - Calcolo dello squat per la nave Jo Jin Maru (pescaggio 14,6 m) in manovra in prossimità dell'accosto C 29
Tab. 3.4 - Aumento del pescaggio per effetto dello squat, Z_{squat} 35
Tab. 3.5 - Aumento del pescaggio per effetto dello sbandamento dinamico dovuto al vento 36
Tab. 3.6- Valori del coefficiente C_2 in funzione di H_s e Lpp (ROM 3.1-99) 40
Tab. 3.7 - Valori dei coefficienti C_3C_4 C_5 C_6 (ROM 3.1-99) 40
Tab. 3.8 - Massimi spostamenti verticali indotti dalle onde limite per la manovrabilità sulle navi di progetto in manovra nell'area portuale 41
Tab. 3.9 - Franchi lordi minimi e fondali di progetto nelle aree di manovra 42
Tab. 4.1 - Condizioni meteomarine considerate nelle simulazioni di manovra in tempo reale 46
Tab. 5.1 - Tabella riepilogativa dei massimi spostamenti verticali delle navi all'ormeggio 56
Tab. 5.2 - Franchi lordi minimi e fondali di progetto agli ormeggi 57

1. PREMESSA

Scopo del presente rapporto è verificare le aree di manovra e relativi fondali necessari a garantire una navigazione in sicurezza delle navi di progetto, e i fondali in banchina necessari a garantire le operazioni di carico e scarico dalle navi.

La verifica delle aree e dei fondali funzionali alle manovre è stata eseguita sulla base dei metodi di calcolo presentati nella letteratura internazionale e supportata da uno studio di manovra in tempo reale delle navi di progetto in entrata e uscita dal porto, anche in situazioni meteomarine non favorevoli. Lo studio, commissionato dall'Autorità Portuale di Savona, è stato effettuato presso il laboratorio del CETENA S.p.A. a Genova, che dispone di un simulatore che consente di provare le manovre di navigazione in 'tempo reale'. Il rapporto conclusivo 'Simulazioni di manovra per il porto di Vado Ligure', redatto dal Cetena, è allegato al presente progetto esecutivo.

Per le navi all'ormeggio invece, la verifica dei fondali di progetto è risultata da un'analisi finalizzata a definire i limiti di velocità del vento e di altezza d'onda ammissibile in prossimità di ogni accosto per i differenti tipi di nave, al fine di consentire l'operatività in banchina. L'analisi è stata eseguita con l'ausilio del software OPTIMOOR, che permette di considerare la dipendenza degli spostamenti della nave non solo dallo spettro di moto ondoso, ma anche dall'orientamento della nave ormeggiata, dalle caratteristiche dei parabordi e dei cavi di ormeggio, dal franco sottochiglia e dalle tipologie costruttive della struttura di banchina.

2. LAYOUT DI RIFERIMENTO E NAVI DI PROGETTO

In Fig. 2.1 è illustrata - schematicamente - l'attribuzione delle banchine disponibili lungo la nuova piastra multifunzionale alle diverse tipologie di traffico.

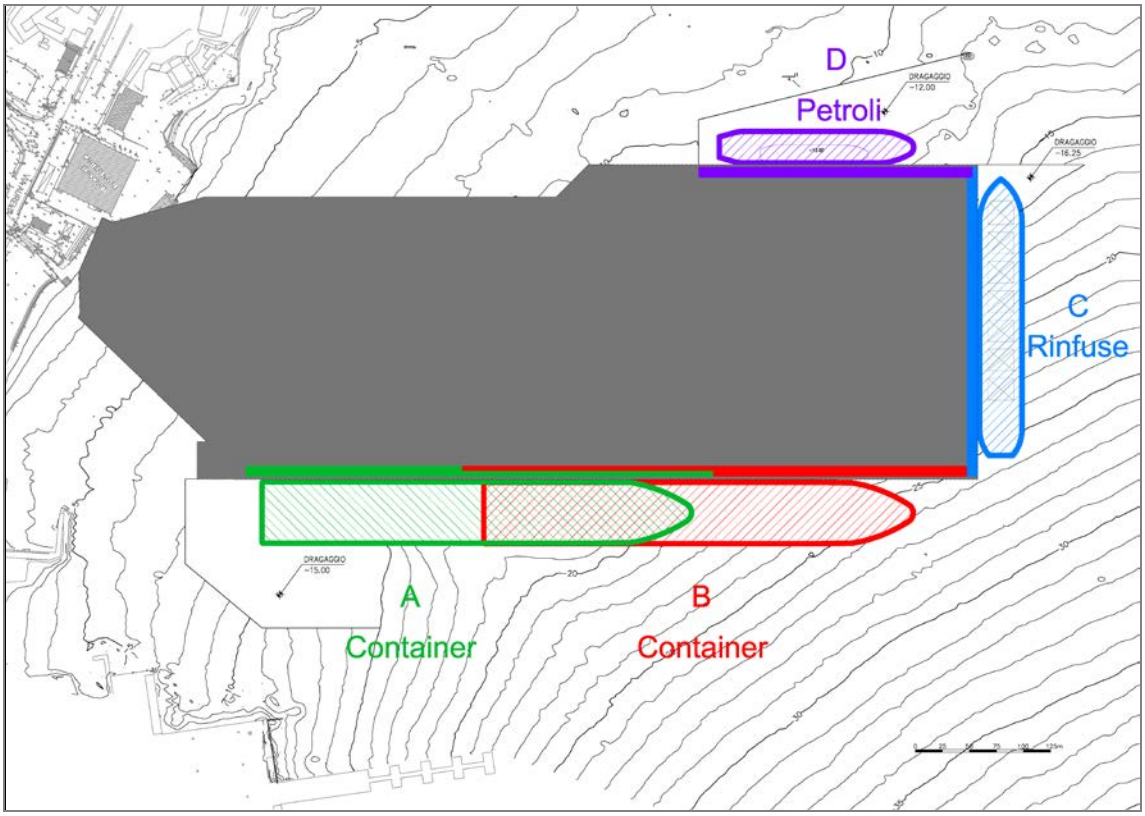


FIG. 2.1 - SCHEMA PLANIMETRICO DEL NUOVO TERMINAL: ASSEGNAZIONE DELLE BANCHINE ALLE DIVERSE CATEGORIE DI TRASPORTO

La configurazione delle opere e dei fondali nell'area portuale è quella rappresentata nella Fig. 2.2 e riportata in dettaglio nei disegni di progetto.

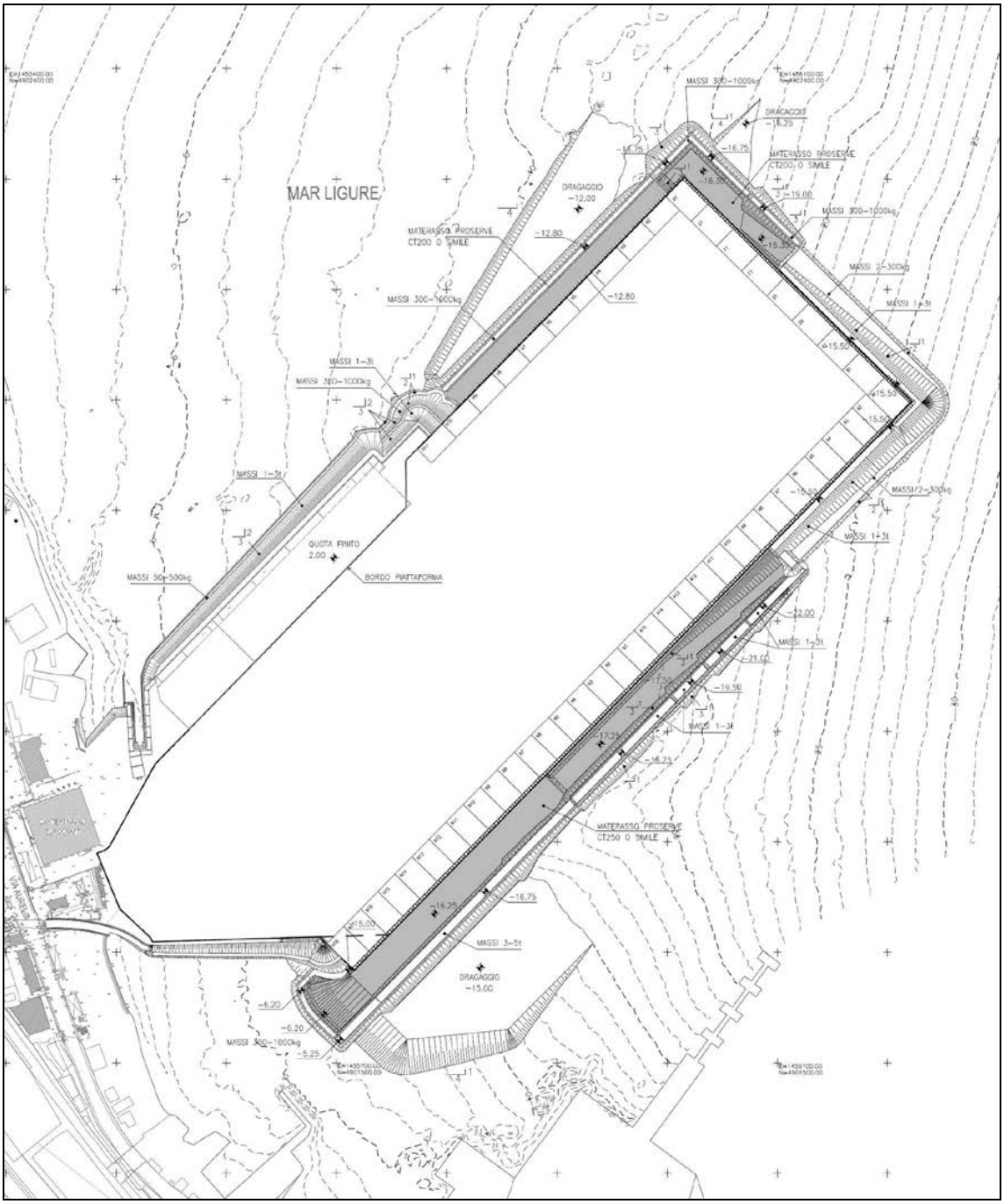


FIG. 2.2 - PLANIMETRIA DELLE OPERE E DEI FONDALI NELL'AREA PORTUALE

In sede di Progetto Preliminare, la banchina container, lunga circa 720 m, era stata suddivisa ipotizzando sul tratto B l'accosto di navi portacontenitori fino a 9.600 TEU ca. aventi lunghezza "fuori tutto" (Loa) pari a 370 m.
Nuovi indirizzi commerciali hanno recentemente richiesto la necessità di operare sul tratto B navi di classe E (Ultra Panamax Container Ship), tipo la Emma Maersk. Tali navi - da fonte Lloyd's Register of Ships aggiornato al marzo 2014 - hanno una capacità di carico di 15.500 TEU ca. (portata in DWT pari a 158.000 t ca.), una Loa = 398 m e una lunghezza tra i perpendicolari (Lbp) di 376 m ca.. Si tratta quindi di navi di dimensioni ben maggiori rispetto a quelle considerate nel Progetto Preliminare, che richiedono più spazio in banchina e maggiori fondali all'ormeggio o condizioni di allibo restrittive.

Nel Progetto Definitivo era stato considerato che la nave di progetto Emma Maersk potesse manovrare ed accostare lungo il tratto B (quello verso mare) della banchina portacontenitori solo in condizioni di allibo, mentre nel presente Progetto Esecutivo, a seguito di richieste dei terminalisti, l'Emma Maersk viene considerata in condizioni di pieno carico (pescaggio massimo 16 m) senza condizioni di allibo restrittive.

Sul tratto A della banchina portacontenitori non vi sono le condizioni di fondale per ormeggiare la Emma Maersk a pieno carico e pertanto si è valutata una condizione di pescaggio di tali navi all'arrivo in banchina al massimo pari a 13,75 m e quindi con una capacità di carico ridotta, pari al 79% di quella massima. In termini di TEU, la riduzione è di circa 3.255 unità.

Considerazioni analoghe riguardo alle condizioni di pescaggio delle nuove navi di progetto - non sempre garantite nei valori massimi all'ormeggio in virtù dei fondali effettivamente disponibili - sono state eseguite anche per le Banchine C e D della piastra multifunzionale.

Per quanto attiene alla banchina rinfuse C, considerati i limiti imposti dai fondali e nel contempo l'esigenza di disporre di un franco di sicurezza sottochiglia (viste le condizioni di esposizione dell'accosto e conformemente a quanto richiesto dal terminalista), si è valutata una condizione di pescaggio di entrambe le navi di progetto all'arrivo in ban-

china al massimo pari a 13.5 m e quindi con una capacità di carico ridotta, pari al 91% di quella massima nel caso della Mini Cape e al 98% di quella massima nel caso della Jo Jin Maru. È tuttavia possibile per entrambe le navi di progetto accostare in banchina a pieno carico (pescaggio 14,6 m) in condizioni meteomarine di calma.

Infine, per quanto concerne la Banchina Petroli D, si può prevedere che la tanker di progetto possa manovrare e ormeggiare a pieno carico.

A seguire sono dunque riepilogati, per ciascun accosto, i dati caratteristici delle navi di progetto. Tali dati sono tratti da fonti autorevoli, quali le "*Guidelines for the design of fenders systems: 2002*" (PIANC - MarCom Report of WG 33) ed il *Lloyd's Register of Ships* aggiornato al marzo 2014.

TAB. 2.1 - BANCHINA PORTACONTENITORI - BANCHINA A

Portacontenitori n. 1 - Feeder (max 600-750 TEU)			
Fondale disponibile	15 m		
Caratteristiche nave di progetto a pieno carico			
Loa = 138,1 m		Δ = 20,200 t	
Lbp = 128,4 m		DWT = 14,643 t	
B = 22,90 m		TPC = 28	
T = 8,3 m		Cb = 0,81	
Depth = 12 m		Freeb, = 3,7 m	
Caratteristiche nave di progetto allibata			
Percentuale di carico	100%		

Portacontenitori n, 2 - E-class ("Emma Maersk", 15.550 TEU)			
Fondale disponibile	15 m		
Caratteristiche nave di progetto a pieno carico			
Loa = 398 m		Δ = 218.788 t	
Lbp = 376 m		DWT = 158.200 t	
B = 56,4 m		TPC = 150	
T = 16 m		Cb = 0,63	
Depth = 30.2 m		Freeb. = 14,2 m	
Caratteristiche nave di progetto allibata			
Percentuale di carico	79% (12.284 TEU)	DWT_{all} = 124.450 t	
Pescaggio nave allibata (T_{all})	13,75 m		
Freeboard nave allibata ($Freeb_{all}$)	16,45 m		
Dislocamento nave allibata (Δ_{all})	185.000 t		
Cb_{all}	0,62		

TAB. 2.2 - BANCHINA PORTACONTENITORI - BANCHINA B

Portacontenitori n. 1 - Feeder (max 600-750 TEU)					
Fondale disponibile	≥ 17,25 m				
Caratteristiche nave di progetto a pieno carico					
Loa	=	138,1 m	Δ	=	20.200 t
Lbp	=	128,4 m	DWT	=	14.643 t
B	=	22,90 m	TPC	=	28
T	=	8,3 m	Cb	=	0,81
Depth	=	13 m	Freeb.	=	3,7 m
Caratteristiche nave di progetto allibata					
Percentuale di carico	100%				

Portacontenitori n. 2 - E-class ("Emma Maersk", 15.550 TEU)					
Fondale disponibile	≥ 17,25 m				
Caratteristiche nave di progetto a pieno carico					
Loa	=	398 m	Δ	=	218.788 t
Lbp	=	376 m	DWT	=	158.200 t
B	=	56,4 m	TPC	=	150
T	=	16 m	Cb	=	0,63
Depth	=	30,2 m	Freeb.	=	14,2 m
Caratteristiche nave di progetto allibata					
Percentuale di carico	100%				

TAB. 2.3 - BANCHINA RINFUSE - BANCHINA C

Portarinfuse n. 1 - Mini Cape					
Fondale disponibile	≥ 16,25 m				
Caratteristiche nave di progetto a pieno carico					
Loa = 255 m			Δ = 134.904 t		
Lbp = 248 m			DWT = 114.563 t		
B = 43,0 m			TPC = 103,6		
T = 14,5 m			Cb = 0,85		
Depth = 20,2 m			Freeb. = 5,7 m		
Caratteristiche nave di progetto allibata					
Percentuale di carico	91%	DWT_{all} = 104.203 t			
Pescaggio nave allibata (T_{all})	13,5 m				
Freeboard nave allibata ($Freeb_{all}$)	6,7 m				
Dislocamento nave allibata (Δ_{all})	125.000 t				
Cb_{all}	0,85				

N.B. *In condizioni meteomarine di calma, la nave può accostare a pieno carico*

Portarinfuse n. 2 - Jo Jin Maru					
Fondale disponibile	≥ 16,25 m				
Caratteristiche nave di progetto a pieno carico					
Loa = 240 m			Δ = 116.500 t		
Lbp = 236 m			DWT = 98.697 t		
B = 38,0 m			TPC = 14,4		
T = 14,6 m			Cb = 0,87		
Depth = 20,0 m			Freeb. = 5,4 m		
Caratteristiche nave di progetto allibata					
Percentuale di carico	98%	DWT_{all} = 97.113 t			
Pescaggio nave allibata (T_{all})	13,5 m				
Freeboard nave allibata ($Freeb_{all}$)	6,5 m				
Dislocamento nave allibata (Δ_{all})	108.000 t				
Cb_{all}	0,87				

N.B. *In condizioni meteomarine di calma, la nave può accostare a pieno carico*

TAB. 2.4 - BANCHINA PETROLI - BANCHINA D

Tanker n. 1 - Ottomana					
Fondale disponibile		≥ 12 m			
Caratteristiche nave di progetto a pieno carico					
Loa	=	169,1 m	Δ	=	35.000 t
Lbp	=	158,7 m	DWT	=	27.300 t
B	=	27,4 m	TPC	=	37,5
T	=	9,96 m	Cb	=	0,79
Depth	=	14,6 m	Freeb.	=	4,6 m
Caratteristiche nave di progetto allibata					
Percentuale di carico		100%			

Tanker n. 2					
Fondale disponibile		≥ 12 m			
Caratteristiche nave di progetto a pieno carico					
Loa	=	102 m	Δ	=	8.360 t
Lbp	=	97 m	DWT	=	5.000 t
B	=	16,8 m	TPC	=	13
T	=	6,4 m	Cb	=	0,78
Depth	=	7,9 m	Freeb.	=	1,5 m
Caratteristiche nave di progetto allibata					
Percentuale di carico		100%			

3. VERIFICA DEI FONDALI NELLE AREE DI MANOVRA PER LA NAVIGAZIONE

3.1. Introduzione

Nelle fasi di avvicinamento, di manovra e di ormeggio all'interno di un sistema portuale è indispensabile assicurare che tra la profondità del fondale h e la massima immersione della chiglia della nave T_{max} (al netto di specifici fattori di tolleranza da quantificare di volta in volta), permanga comunque un adeguato tirante idrico UKC_{netto}, il così detto "franco netto sotto chiglia" (net underkeel clearence). Questo al fine di scongiurare fenomeni di impatto incontrollato della chiglia della nave contro il fondale marino (incagliamento/arenamento) ma anche di assicurare il rispetto dei requisiti minimi di manovrabilità dell'imbarcazione in "acque basse". Sulla base di queste considerazioni la profondità minima dei fondali nelle aree portuali necessaria a garantire la manovrabilità della nave di progetto in sicurezza è data dalla seguente relazione:

$$h_{min}-\Delta h_{marea}=T_{max}+UKC_{netto}+\Delta T_{navigazione}$$

dove

Δh_{marea}: massimi "abbassamenti" del livello marino dovuti alla bassa marea di progetto

T_{max} massimo pescaggio della nave di progetto

UKC_{netto}: franco netto sottochiglia

$\Delta T_{navigazione}$: incremento "statico" e "dinamico" del pescaggio dato dalla combinazione delle condizioni di :

- esposizione dello scafo ai fattori meteomarini (vento, moto ondoso, correnti)
- "assetto" durante le varie fasi di manovra (ad esempio l'abbassamento di poppa, squat, per nave in navigazione).

Nel fattore $\Delta T_{navigazione}$ sono quindi inclusi i contributi di:

– squat, compreso il corrisponente trim dinamico, Z_{squat}
– sbandamento dinamico dovuto al vento, Z_{wind}
– spostamenti per effetto dell'onda, Z_{wave}

La somma del termine UKC_{netto} con il termine $\Delta T_{navigazione}$ viene detta "franco lordo sottochiglia" (gross underkeel clearence) e rappresenta il tirante minimo richiesto sottochiglia al lordo di tutte le varie tolleranze sul pescaggio della nave.

Nel presente capitolo vengono quantificati i suddetti fattori che concorrono alla definizione del fondale minimo necessario per effettuare manovre navigazionali in sicurezza. Sulla base di tali risultati viene poi dimostrata l'adeguatezza dei fondali adottati nell'area portuale di Vado Ligure.

3.2. Livello marino di riferimento

Il massimo "abbassamento" quasi-statico del livello marino assunto per la definizione dei fondali nelle aree di manovra del nuovo porto di Vado Ligure è uguale a -0.15 m s.l.m.m e corrisponde alla minima marea astronomica sizigiale (MLWS, Mean Lower Water Spring).

3.3. Franco netto sottochiglia minimo

Il franco netto sottochiglia è definito come il minimo margine da garantire tra la chiglia e il fondale di progetto per la navigazione all'interno dell'area portuale con condizioni di vento e onda definite limite per la manovrabilità. In altre parole si tratta di un margine di sicurezza da garantire sotto la chiglia dopo aver sottratto gli altri fattori che influenzano il massimo pescaggio della nave e considerando un abbassamento del livello marino associato alla bassa marea di riferimento.

Questo parametro è tipicamente correlato alla natura del fondale (sabbioso o roccioso), alle condizioni di manovra ed al "danno" accettabile in caso di incagliamento/arenamento dell'imbarcazione.

Nel nostro caso, considerato il fondale limoso e con riferimento a quanto riportato nel Rapporto 121-2014 del PIANC si è assunto di voler garantire nelle aree di manovra, per tutte le navi di progetto, un franco netto sotto chiglia UKC_{netto} di 0.5 m.

3.4. Squat

Lo squat è il fenomeno di incremento costante del pescaggio della nave in navigazione, combinazione di una traslazione verso il basso e di una rotazione lungo l'asse trasversale della nave, dovuto al flusso dell'acqua lungo lo scafo in movimento. La velocità relativa che si crea tra lo scafo in movimento e l'acqua circostante provoca una depressione del livello dell'acqua, all'interno della quale la nave affonda. L'entità di questo fenomeno dipende dalle caratteristiche geometriche della nave, da parametri che mettono in relazione l'ingombro della nave con la larghezza e la profondità dell'area di manovra e dal parametro F_{nh}, che mette in relazione la profondità dell'area di manovra con la velocità della nave.

I parametri associati alle caratteristiche della nave che influenzano lo squat sono principalmente i seguenti:

- T: pescaggio della nave
- C_b: Block coefficient: coefficiente di blocco della nave, rappresentativo della forma dello scafo
- V_s: velocità della nave
- L_{pp}: lunghezza tra le perpendicolari
- B: massima larghezza della nave

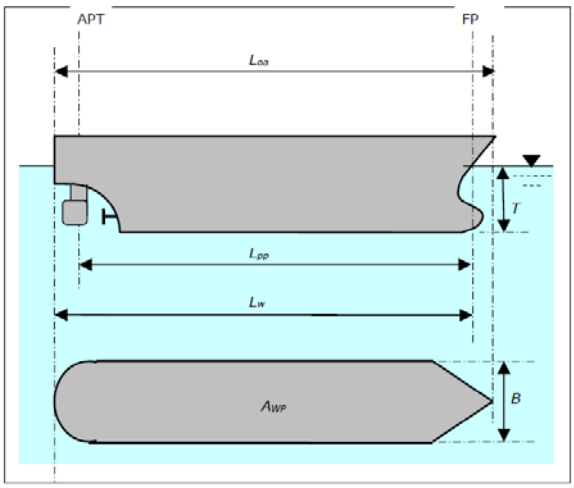


FIG. 3.1 - PARAMETRI CARATTERISTICI DELLA NAVE

La velocità della nave deve essere intesa come velocità relativa tra la nave e l'acqua e quindi eventuali correnti idrodinamiche devono essere incluse nella definizione del valore di Vs. Nel caso del porto di Vado Ligure non sono state considerate correnti, in quanto il loro effetto è stato ritenuto trascurabile, date le basse velocità evidenziate nel rapporto "Analisi degli effetti sull'idrodinamica e il ricambio" (MI010P-PE-G-L-R-4130-C0).

I parametri caratteristici della geometria del canale, o più in generale dell'area di manovra, che maggiormente influenzano lo squat, sono (Fig. 3.2):

– h/T: la profondità relativa del fondale. Le aree di manovra e i canali caratteriszzati da un rapporto h/T>1.5, possono essere assunti come profondi in relazione al pescaggio della nave, e quindi sicuri dal punto di vista dello squat.
– W/B: larghezza relativa del canale. In funzione di questo rapporto i canali vengono identificati in:
  - W/B>9.6 → unrestricted channel
  - W/B<9.6 → restricted channel

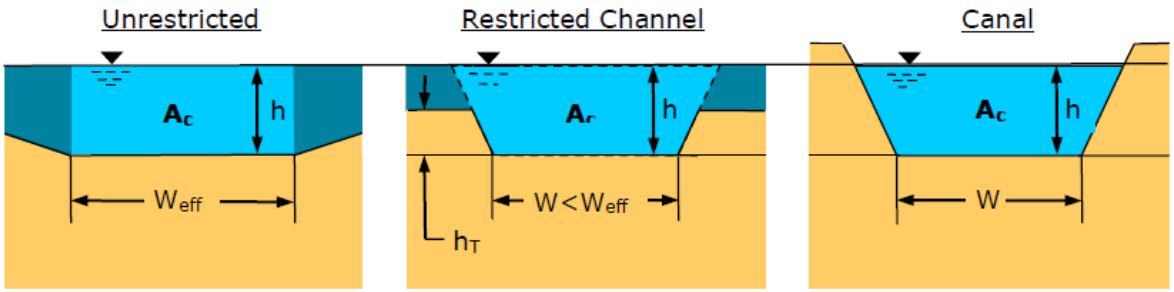


FIG. 3.2 - CONFIGURAZIONI DELLE DEI CANALI/AREE DI MANOVRA

Infine il parametro adimensionale F_{nh}, *Froud Depth Number*, definito come:

$$F_{nh} = V / \left(\sqrt{gh} \right)$$

influenza lo squat in quanto governa la resistenza idrodinamica al moto della nave in acque basse. Quando F_{nh} si avvicina o è uguale all'unità, la resistenza al moto raggiunge

valori molto alti, tali da non essere superabili con le potenze installate nella maggior parte delle navi. Generalmente le navi non sono in grado di superare valori di F_{nh} di 0,6 o 0,7 (il primo per le navi tanker, il secondo per le navi portacontenitori), il che si traduce in una effettiva barriera alla velocità di una nave in un'area con un dato fondale.

Lo squat può essere stimato in molti modi, uno studio particolarmente accurato che riassume i risultati ottenuti dai diversi autori in merito alla previsione dello squat, è proposto nell'appendice D "Prediction of Ship Squat" del PIANC Report n°121 del 2014 intitolato "Harbour approach channels design guidelines".

Il campo di applicazione di ogni formula è mostrato in Tab. 3.1. Per il porto di Vado Ligure come valore dello squat di progetto si assume il valore massimo tra quelli ottenuti dal calcolo con le trattazioni applicabili di volta in volta in relazione ad C_b e W/B, (vedi Tab. 3.1).

TAB. 3.1- CAMPI DI APPLICAZIONE DELLE FORMULE EMPIRICHE PER LA VALUTAZIONE DELLO SQUAT - PIANC REPORT NO.121-2014.

Code ID	Configuration			Constraint							
	U	R	C	F_{nh}	C_B	S	B/T	h/T	h_T/h	L/B	L/T
Tuck (1966)	Y	Y	Y	F_{nh}^{2+}							
Huuska/Guliev (1976)	Y	Y	Y	≤ 0.7	0.6 - 0.8		2.19 - 3.5	1.1 - 2.0	0.22 - 0.81	5.5 - 8.5	16.1 - 20.2
ICORELS (1980)	Y	(Y)		≤ 0.7 V_{Cr}	0.6 - 0.8		2.19 - 3.5	1.1 - 2.0	0.22 - 0.81	5.5 - 8.5	16.1 - 20.2
Barrass3 (2004)	Y	Y	Y	V^2	0.5 - 0.85	0.1 - 0.25		1.1 - 1.4			
Eryuzlu2 (1994)	Y	Y		F_{nh}^{2+}	≥ 0.8		2.4 - 2.9	1.1 - 2.5		6.7- 6.8	
Römisch (1989)	Y	Y	Y	V^{2+}, V_{Cr}			2.6	1.19- 2.25		8.7	22.9
Yoshimura (1986)	Y	Y	Y	V^2	0.55 - 0.8		2.5 - 5.5	≥ 1.2		3.7 – 6.0	

Notes:
1. Y=Yes
2. Only *h/T* enforced for Römisch formula.
3. Only Barrass3 and Römisch predict stern squat S_S explicitly. Others predict maximum squat, whether at bow or stern.
4. V^2: Squat a function of square of velocity
5. V^{2+}: Squat a function of more than square of velocity
6. F_{nh}^{2+}: Squat a function of more than square of F_{nh}.
7. V_{Cr}: Squat a function of critical speed V_{Cr}.
8. ICORELS sometimes used in Restricted channel although originally developed for Unrestricted.

In base a quanto sopra enunciato le aree portuali per le quali la stima dello squat è importante ai fini della definizione dei fondali di progetto sono quelle caratterizzate da fondali aventi profondità relativa h/T<1.5 e in corrispondenza dei quali le navi abbiano velocità non nulle.

Nell'ambito del progetto del nuovo porto di Vado Ligure, si possono evidenziare 4 aree per le quali la stima dello squat può essere di un qualche interesse:

– il dragaggio alla radice della banchina container
– la zona antistante l'accosto container B dove i fondali presentano un rapporto h/T<1.5.
– il dragaggio in corrispondenza dello spigolo nord-ovest della banchina rinfuse
– il dragaggio in corrispondenza della banchina petroli.

Queste aree sono tutte caratterizzate da un rapporto h/T<1.5, tuttavia le velocità delle navi in queste aree sono velocità estremamente basse. Ne risulta che, come presentato nei calcoli, i valori dello squat risultano estremamente bassi e quasi trascurabili ai fini della definizione dei fondali di progetto.

Infine si sottolinea che per il calcolo dello squat sono state adottate velocità delle navi in avvicinamento alle banchine di:

- 2 nodi, per le due aree di manovra limitate planimetricamente dalla presenza di bassi fondali (area alla radice della banchina container e zona antistante la banchina petroli);
- 3 nodi, per le aree dove la nave, risentendo meno dei vincoli planimetrici, adotterà presumibilmente velocità maggiori in partenza dalla banchina (zona antistante accosto container B e accosto rinfuse C).

Questi valori trovano riscontro nelle simulazioni di manovra effettuate presso il simulatore del CETENA.

Qui in seguito si presentano i calcoli per le varie aree e le relative navi di progetto. Si fa notare che per quanto riguarda l'area di manovra antistante la banchina rinfuse si è considerata a favore della sicurezza come nave di progetto la Jo Jin Maru, in quanto presenta pescaggio a pieno carico maggiore e valori dello squat comparabili con quelli della nave Mini Cape.

TAB. 3.2 - CALCOLO DELLO SQUAT PER LA NAVE EMMA MAERSK (PESCAGGIO 13,75 M) IN MANOVRA NELL'AREA DRAGATA IN RADICE DELLA BANCHINA CONTAINER

CALCOLO DELLO SQUAT - ACCOSTO A			
Design vessel characteristics			
			EMMA MAERSK Allibata 13.75 m
Length overall (Loa)	Loa	m	398.00
Length between perpendiculars (Lbp)	Lbp	m	376.00
Beam (B)	B	m	56.40
Draft (Tmax)	T_{max}	m	**13.75**
Displacement		ton	185000
Density of seawater	ρ_{H20}	kg/mc	1030
Displacement		mc	179612
Block coefficient	**C_B**	**[-]**	**0.62**
Dead weight tonnage	DWT	ton	124,450
Parameters used for squat calculations			
Depth of channel	**h**	**m**	**15**
Channel width, measured at bottom	W	m	150
W/B	W/B	[-]	2.7
Vessel speed	**v**	**knots**	**2**
	L/B	[-]	7.1
	B/T	[-]	4.1
	h/T	[-]	1.09
	L/h	[-]	26.5
	Froude number = Fnh	[-]	0.08
Waterway configuration: definitions			
	h/T	[-]	1.09
			sallow water
W/B	W/B	[-]	2.7
			restricted channel

SQUAT CALCULATION - equations and relevant limits of validity					
Yoshimura (2007)					
Application					
Blockage factor		S = As/Ac		[-]	0.24
Ship service speed		Vs		m/s	**1.0**
	1) unrestrected shallow water			Ve (m/s)	1.0
	2) canal & restricted channel			Ve (m/s)	1.3
		squat	1)	m	**0.02**
			2)	m	**0.04**
Barras I (1979)					
Range of validity					
		$0.5 \le C_B \le 0.9$		[-]	ok
		$1.1 \le h/T \le 1.5$		[-]	no
Application					
Velocity return factor		$S_2 = As/Aw$		[-]	0.32
Ship service speed		Vs		m/s	**1.0**
		squat		**m**	**0.05**
Barras II (1981)					
Range of validity					
		$0.5 \le C_B \le 0.9$		[-]	ok
		$1.1 \le h/T \le 1.5$		[-]	no
		Fnh<0.7		[-]	ok
Application					
		squat		**m**	**0.04**
Huuska/Guliev (1976)					
Range of validity					
		Fnh<0.7		[-]	ok
		$1.1 \le h/T \le 2$		[-]	no
Application					
To evaluate K1	Blockage factor	S = As/Ach		[-]	0.241
		h_T/h		[-]	0.167
Correction factor		K_1			6.7
Corrected blockage factor		$S_1 = As/Ach/K_1$		[-]	0.036
Correction factor for channel width		K_S		[-]	1.028
		squat		**m**	**0.02**
Romisch (1989)					

Range of validity				
		1.19 ≤ h/T ≤ 2.25	[-]	no
Application				
Critical ship speed	Vcr [m/s]	1) unrestrected shallow water	Vcr [m/s]	9.08
		2) canal	Ac/As	4.1
			Kc	0.327
			Vcr [m/s]	3.97
		3) restricted channel	Kch	0.75
			W_{top} [m]	270.00
			h_m	11.67
			h_{mT}	14.44
			Vcr [m/s]	8.07
Correction factor for ship speed		1) unrestrected shallow water	Cv [-]	0.01
		2) canal	Cv [-]	0.04
		3) restricted channel	Cv [-]	0.01
Correction factor for ship shape		a) for bow squat	C_F [-]	0.85
		b) for stern squat	C_F [-]	1
Squat at critical speed referred to draught			$K_{\Delta T}$	0.16
		squat	**1) m**	**0.02**
			2) m	**0.08**
			3) m	**0.02**
Maximum value				**0.05**

TAB. 3.2 - CALCOLO DELLO SQUAT PER LA NAVE EMMA MAERSK (PESCAGGIO 16,00 M) IN MANOVRA IN PROSSIMITÀ DELL'ACCOSTO CONTAINER B

CALCOLO DELLO SQUAT - ACCOSTO B			
Design vessel characteristics			
			EMMA MAERSK Pieno carico 16.00 m
Length overall (Loa)	Loa	m	398.00
Length between perpendiculars (Lbp)	Lbp	m	376.00
Beam (B)	B	m	56.40
Draft (Tmax)	T_{max}	m	**16.00**
Displacement		ton	218788
Density of seawater	ρ_{H20}	kg/mc	1030
Displacement		mc	212416
Block coefficient	**C_B**	**[-]**	**0.63**
Dead weight tonnage	DWT	ton	158,200
Parameters used for squat calculations			
Depth of channel	**h**	**m**	**17.25**
Channel width, measured at bottom	W	m	500
W/B	W/B	[-]	8.9
Vessel speed	**v**	**knots**	**3**
	L/B	[-]	7.1
	B/T	[-]	3.5
	h/T	[-]	1.08
	L/h	[-]	23.1
	Froude number = Fnh	[-]	0.12
Waterway configuration: definitions			
	h/T	[-]	1.08
			sallow water
W/B	W/B	[-]	8.9
			restricted channel

SQUAT CALCULATION - equations and relevant limits of validity					
Yoshimura (2007)					
Application					
Blockage factor		S = As/Ac		[-]	0.08
Ship service speed		Vs		m/s	**1.5**
	1) unrestrected shallow water			Ve (m/s)	1.5
	2) canal & restricted channel			Ve (m/s)	1.6
		squat	1)	m	**0.05**
			2)	m	**0.06**
Barras I (1979)					
Range of validity					
		$0.5 \le C_B \le 0.9$		[-]	ok
		$1.1 \le h/T \le 1.5$		[-]	no
Application					
Velocity return factor		$S_2 = As/Aw$		[-]	0.08
Ship service speed		Vs		m/s	**1.5**
		squat		**m**	**0.04**
Barras II (1981)					
Range of validity					
		$0.5 \le C_B \le 0.9$		[-]	ok
		$1.1 \le h/T \le 1.5$		[-]	no
		Fnh<0.7		[-]	ok
Application					
		squat		**m**	**0.04**
Huuska/Guliev (1976)					
Range of validity					
		Fnh<0.7		[-]	ok
		$1.1 \le h/T \le 2$		[-]	no
Application					
To evaluate K1	Blockage factor	S = As/Ach		[-]	0.076
		h_T/h		[-]	0.006
Correction factor		K_1			3
Corrected blockage factor		$S_1 = As/Ach/K_1$		[-]	0.025
Correction factor for channel width		K_S		[-]	1.000
		squat		**m**	**0.05**
ICORELS (1980)- Unrestricted					

Range of validity					
			Fnh<0.7	[-]	ok
			1.1 ≤ h/T ≤ 2	[-]	no
Application					
			squat	**m**	**0.04**
DMI					
			squat	**m**	**0.06**
Romisch (1989)					
Range of validity					
			1.19 ≤ h/T ≤ 2.25	[-]	no
Application					
Critical ship speed	Vcr [m/s]	1) unrestrected shallow water		Vcr [m/s]	9.72
		2) canal		Ac/As	13.1
				Kc	0.654
				Vcr [m/s]	8.51
		3) restricted channel		Kch	0.75
				W_{top} [m]	845.00
				h_m	13.73
				h_{mT}	17.23
				Vcr [m/s]	9.71
Correction factor for ship speed		1) unrestrected shallow water		Cv [-]	0.02
		2) canal		Cv [-]	0.02
		3) restricted channel		Cv [-]	0.02
Correction factor for ship shape		a) for bow squat		C_F [-]	0.88
		b) for stern squat		C_F [-]	1
Squat at critical speed referred to draught				$K_{\Delta T}$	0.16
			squat	**1) m**	**0.04**
				2) m	**0.05**
				3) m	**0.040**
Maximum value				**m**	**0.05**

TAB. 3.3 - CALCOLO DELLO SQUAT PER LA NAVE JO JIN MARU (PESCAGGIO 14,6 M) IN MANOVRA IN PROSSIMITÀ DELL'ACCOSTO C

CALCOLO DELLO SQUAT - ACCOSTO C			
Design vessel characteristics			
			Jo Jin Maru Pieno carico 14.60 m
Length overall (Loa)	Loa	m	240.00
Length between perpendiculars (Lbp)	Lbp	m	236.00
Beam (B)	B	m	38.00
Draft (Tmax)	T_{max}	m	**14.60**
Displacement		ton	116500
Density of seawater	ρ_{H20}	kg/mc	1030
Displacement		mc	113107
Block coefficient	**C_B**	**[-]**	**0.86**
Dead weight tonnage	DWT	ton	98,697
Parameters used for squat calculations			
Depth of channel	**h**	**m**	**16.25**
Channel width, measured at bottom	W	m	500
W/B	W/B	[-]	13.2
Vessel speed	**v**	**knots**	**3**
	L/B	[-]	6.3
	B/T	[-]	2.6
	h/T	[-]	1.11
	L/h	[-]	14.8
	Froude number = Fnh	[-]	0.12
Waterway configuration: definitions			
	h/T	[-]	1.11
			sallow water
W/B	W/B	[-]	13.2
			unrestricted shallow water

SQUAT CALCULATION - equations and relevant limits of validity

Yoshimura (2007)					
Application					
Blockage factor		S = As/Ac		[-]	0.05
Ship service speed		Vs		m/s	**1.5**
	1) unrestrected shallow water			Ve (m/s)	1.5
	2) canal & restricted channel			Ve (m/s)	1.6
		squat	1)	m	**0.07**
			2)	m	**0.08**
Barras I (1979)					
Range of validity					
		$0.5 \le C_B \le 0.9$		[-]	ok
		$1.1 \le h/T \le 1.5$		[-]	ok
Application					
Velocity return factor		S_2 = As/Aw		[-]	0.05
Ship service speed		Vs		m/s	**1.5**
		squat		**m**	**0.04**
Barras II (1981)					
Range of validity					
		$0.5 \le C_B \le 0.9$		[-]	ok
		$1.1 \le h/T \le 1.5$		[-]	ok
		Fnh<0.7		[-]	ok
Application					
		squat		**m**	**0.04**
Huuska/Guliev (1976)					
Range of validity					
		Fnh<0.7		[-]	ok
		$1.1 \le h/T \le 2$		[-]	ok
Application					
To evaluate K1	Blockage factor	S = As/Ach		[-]	0.051
		h_T/h		[-]	0.006
Correction factor		K_1			2
Corrected blockage factor		S_1 = As/Ach/K_1		[-]	0.025
Correction factor for channel width		K_S		[-]	1.000
		squat		**m**	**0.07**
ICORELS (1980)- Unrestricted					

Range of validity					
			Fnh<0.7	[-]	ok
			1.1 ≤ h/T ≤ 2	[-]	ok
Application					
			squat	**m**	**0.07**
DMI					
			squat	**m**	**0.08**
Eryuzlu and Hausser (1978)					
Range of validity					
			1.08 ≤ h/T ≤ 2.75	[-]	ok
			C_B ≥ 0.8	[-]	ok
Application					
			squat	**m**	**0.09**
Romisch (1989)					
Range of validity					
			1.19 ≤ h/T ≤ 2.25	[-]	no
Application					
Critical ship speed	Vcr [m/s]	1) unrestrected shallow water		Vcr [m/s]	9.34
		2) canal		Ac/As	19.8
				Kc	0.728
				Vcr [m/s]	9.19
		3) restricted channel		Kch	0.74
				W_{top} [m]	825.00
				h_m	13.05
				h_{mT}	16.23
				Vcr [m/s]	9.34
Correction factor for ship speed		1) unrestrected shallow water		Cv [-]	0.02
		2) canal		Cv [-]	0.02
		3) restricted channel		Cv [-]	0.02
Correction factor for ship shape		a) for bow squat		C_F [-]	1.93
		b) for stern squat		C_F [-]	1
Squat at critical speed referred to draught				$K_{\Delta T}$	0.16
			squat	**1) m**	**0.08**
				2) m	**0.08**
				3) m	**0.076**
Maximum value				**m**	**0.09**

TAB. 3.3 - CALCOLO DELLO SQUAT PER LA NAVE MINI CAPE (PESCAGGIO 14,5 M) IN MANOVRA IN PROSSIMITÀ DELL'ACCOSTO D

CALCOLO DELLO SQUAT - ACCOSTO D			
Design vessel characteristics			
			OTTOMANA Pieno carico 9,96 m
Length overall (Loa)	Loa	m	169.00
Length between perpendiculars (Lbp)	Lbp	m	158.70
Beam (B)	B	m	27.40
Draft (Tmax)	T_{max}	m	**9.96**
Displacement		ton	35000
Density of seawater	ρ_{H20}	kg/mc	1030
Displacement		mc	33981
Block coefficient	**C_B**	**[-]**	**0.78**
Dead weight tonnage	DWT	ton	27,300
Parameters used for squat calculations			
Depth of channel	**h**	**m**	**12**
Channel width, measured at bottom	W	m	80
W/B	W/B	[-]	2.9
Vessel speed	**v**	**knots**	**2**
	L/B	[-]	6.2
	B/T	[-]	2.8
	h/T	[-]	1.20
	L/h	[-]	14.1
	Froude number = Fnh	[-]	0.09
Waterway configuration: definitions			
	h/T	[-]	1.20
			sallow water
W/B	W/B	[-]	2.9
			restricted channel

SQUAT CALCULATION - equations and relevant limits of validity				
Yoshimura (2007)				
Application				
Blockage factor	S = As/Ac		[-]	0.17
Ship service speed	Vs		m/s	**1.0**
	1) unrestrected shallow water		Ve (m/s)	1.0
	2) canal & restricted channel		Ve (m/s)	1.2
	squat	1)	m	**0.03**
		2)	m	**0.04**
Barras III (2004) - All channels				
Range of validity				
	$0.1 \leq S_2 \leq 0.25$		[-]	ok
	$1.1 \leq h/T \leq 1.4$		[-]	ok
Application				
Blockage factor	S_2 = As/Aw		[-]	0.21
K	K		[-]	1.76
Ship service speed	Vs		m/s	**1.0**
	squat		**m**	**0.014**
Barras I (1979)				
Range of validity				
	$0.5 \leq C_B \leq 0.9$		[-]	ok
	$1.1 \leq h/T \leq 1.5$		[-]	ok
Application				
Velocity return factor	S_2 = As/Aw		[-]	0.21
Ship service speed	Vs		m/s	**1.0**
	squat		**m**	**0.05**
Barras II (1981)				
Range of validity				
	$0.5 \leq C_B \leq 0.9$		[-]	ok
	$1.1 \leq h/T \leq 1.5$		[-]	ok
	Fnh<0.7		[-]	ok
Application				
	squat		**m**	**0.04**
Huuska/Guliev (1976)				

Range of validity					
		Fnh<0.7		[-]	ok
		1.1 ≤ h/T ≤ 2		[-]	ok
Application					
To evaluate K1	Blockage factor	S = As/Ach		[-]	0.174
		h_T/h		[-]	0.208
Correction factor		K_1			5
Corrected blockage factor		S_1 = As/Ach/K_1		[-]	0.035
Correction factor for channel width		K_S		[-]	1.019
		squat		**m**	**0.03**
ICORELS (1980)- Unrestricted					
Range of validity					
		Fnh<0.7		[-]	ok
		1.1 ≤ h/T ≤ 2		[-]	ok
Application					
		squat		**m**	**0.03**
Romisch (1989)					
Range of validity					
		1.19 ≤ h/T ≤ 2.25		[-]	ok
Application					
Critical ship speed	Vcr [m/s]	1) unrestrected shallow water		Vcr [m/s]	8.09
		2) canal		Ac/As	5.7
				Kc	0.493
				Vcr [m/s]	5.35
		3) restricted channel		Kch	0.75
				W_{top} [m]	176.00
				h_m	8.73
				h_{mT}	11.32
				Vcr [m/s]	7.30
Correction factor for ship speed		1) unrestrected shallow water		Cv [-]	0.01
		2) canal		Cv [-]	0.02
		3) restricted channel		Cv [-]	0.01
Correction factor for ship shape		a) for bow squat		C_F [-]	1.83
		b) for stern squat		C_F [-]	1
Squat at critical speed referred to draught				$K_{\Delta T}$	0.17
		squat	**1)**	**m**	**0.03**
			2)	**m**	**0.07**
			3)	**m**	**0.04**
Maximum value				**m**	**0.05**

In Tab. 3.4 si riassumono i massimi valori dello squat per ogni tipologia di nave, risultati dai calcoli sopra presentati.

TAB. 3.4 - AUMENTO DEL PESCAGGIO PER EFFETTO DELLO SQUAT, Z_{SQUAT}

Nave di progetto	**Zona di manovra (Accosto)**	**T_{max}**	**Fondale di calcolo**	**Velocità**	**Z_{squat}**
		(m)	(m)	(kn)	(m)
Emma Maersk	Dragaggio in radice della banchina container (accosto A)	13,75	15,00	2	0,04
Emma Maersk	Zona antistante accosto container B	16,00	17,25	3	0,04
Jo Jin Maru	Dragaggio allo spigolo nord-ovest della banchina rinfuse C	14,60	16,25	3	0,09
Ottomana	Dragaggio antistante la banchina petroli D	9,96	12,00	2	0,05

3.5. Sbandamento dinamico dovuto al vento

Lo sbandamento dinamico (heel) dovuto al vento è un fenomeno che si verifica quando la nave viene investita lateralmente dal vento. A differenza del rollio, che è dovuto al movimento oscillatorio indotto dall'azione delle onde, lo sbandamento dovuto al vento è un'inclinazione della nave non oscillatoria. Lo sbandamento va ad aumentare il pescaggio della nave e dipende fortemente dalla larghezza della stessa oltre che dalla superficie esposta all'azione del vento.

Per le navi in manovra all'interno dell'area portuale la stima dello sbandamento dinamico dovuto al vento può essere fatta a partire dalla relazione, presentata nel PIANC Report n°121 del 2014:

$$Z_{Wind} = F_k\left(\frac{B}{2}\sin\phi_W\right)$$

dove

– F_K: fattore di chiglia che tiene conto della notevole curvatura della chiglia. Valori tipici di F_K variano tra 0,76 e 0,90

– ϕ_w: angolo di sbandamento per effetto del vento.

Si assume ϕ_w = 1°, indicato nel PIANC Report n°121 come valore conservativo e F_K = 0,85.

I risultati del calcolo per ogni nave di progetto sono presentati nella tabella qui sotto:

TAB. 3.5 - AUMENTO DEL PESCAGGIO PER EFFETTO DELLO SBANDAMENTO DINAMICO DOVUTO AL VENTO

Nave di progetto	**Zona di manovra (Accosto)**	**T_{max}**	**B**	**Z_{wind}**
		(m)	(m)	(m)
Emma Maersk	Dragaggio in radice della banchina container (accosto A)	13,75	56,4	**0,42**
Emma Maersk	Zona antistante accosto container B	16,00	56,4	**0,42**
Jo Jin Maru	Dragaggio allo spigolo nord-ovest della banchina rinfuse C	14,60	38,0	**0,28**
Ottomana	Dragaggio antistante la banchina petroli D	9,96	27,4	**0,20**

3.6. Movimenti verticali per effetto del moto ondoso

Un corpo rigido che galleggia liberamente sull'acqua possiede sei gradi di libertà di movimento rispetto a forze esterne che ne disturbino lo stato di equilibrio (Fig. 3.3):
Movimento in avanti o indietro (surge)
Traslazione trasversale (sway)
Traslazione verticale (heave)
Rotazione intorno ad un asse longitudinale (heel or roll)

Rotazione intorno ad un asse trasversale (trim or pitch)
Rotazione intorno ad un asse verticale (yaw)

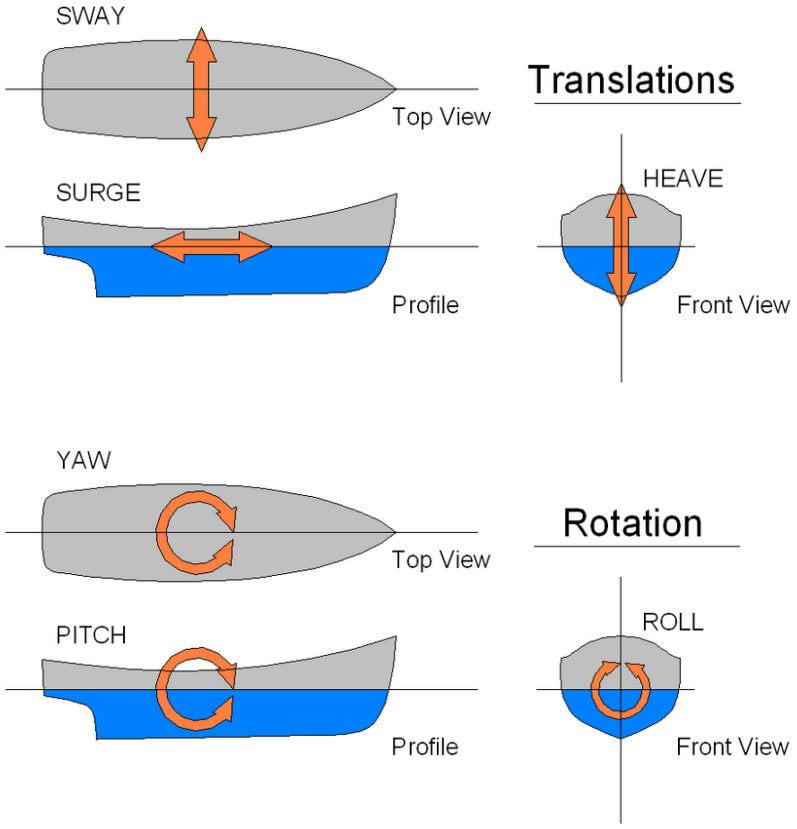


FIG. 3.3- GRADI DI LIBERTÀ DI MOVIMENTO DELLA NAVE CHE GALLEGGIA LIBERAMENTE

Quando soggetta all'azione delle onde una nave risponde con una combinazione di questi sei movimenti. Tuttavia per la definizione dei fondali di progetto solo 3 dei 6 movimenti risultano di interesse, ovvero il rollio, il beccheggio e la traslazione verticale in quanto gli unici in grado di influenzare il massimo pescaggio della nave (Fig. 3.4).

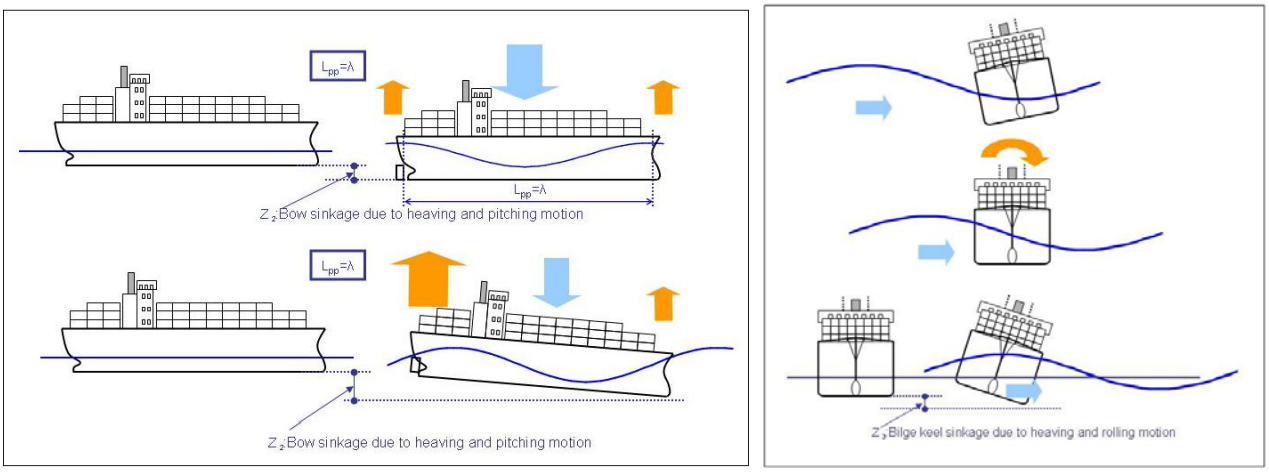


FIG. 3.4- MOVIMENTI DELLA NAVE CHE NE INFLUENZANO IL PESCAGGIO (PIANC REPORT NO. 121-2014)

Per la definizione della risposta della nave in manovra soggetta all'azione del moto ondoso, e in particolare per la stima del massimo spostamento verticale si è fatto riferimento al metodo semiprobabilistico pubblicato nelle ROM 3.1 e presentato anche nel PIANC Report n°121 del 2014 intitolato "Harbour approach channels design guidelines".

Questo metodo, basato sull'applicazione di coefficienti parziali, parte dall'assunzione che:

- la nave sia allibata oltre il 90% del suo dislocamento
- Sia ferma o si muova a velocità molto ridotte (F_{nh}<0.05)
- La profondità relativa sia h/T<1.5
- l'angolo di incidenza dell'onda rispetto all'asse longitudinale della nave sia di 15°.

Il metodo definisce sei coefficienti moltiplicativi per tener conto di condizioni diverse rispetto a quelle assunte alla base del metodo. Questi coefficienti applicati all'altezza d'onda limite per la manovrabilità, permettono di definire il massimo spostamento verticale indotto dalle onde secondo la formula:

$$Z_{wave}=H_s\ C_1C_2C_3C_4C_5C_6$$

dove H_s è l'altezza d'onda ritenuta limite nell'area di manovra.

Nel presente progetto si assume un'altezza d'onda limite per la manovrabilità delle navi di progetto di 1.3 m, associata al limite per l'operatività dei rimorchiatori.

Di seguito si definiscono i vari coefficienti moltiplicativi e quindi i massimi spostamenti associati alle 4 aree di manovra.

Il coefficiente C_1, rappresentativo dell'altezza d'onda massima, è definito come:

$$C_1 = 0.707\sqrt{\ln\left(\frac{N_W}{\ln(1/(1-P_m))}\right)}$$

Dove:

- N_w: è il numero di onde che si attende la nave incontrerà nell'area di progetto durante ogni arrivo/partenza dal porto nell'arco della vita utile. Il valori tipico per Nw è 200, ed è quello che viene assunto nel presente progetto.
- P_m: probabilità di superamento dell'occorrenza della manovra critica.

P_m nelle ROM viene definita come:

$$P_m = 1-(1-P_{DL})^{1/N_{Case}}$$

Dove:

- P_{DL}: probabilità accettabile che la manovra critica non riesca. Valori tipici variano da 0.05 a 0.50.
- N_{Case}: numero totale di casi durante la vita utile dell'opera per i quali si verifica che la nave con massimo pescaggio debba manovrare in condizioni limite di onda.

Il coefficiente C_2 viene definito in funzione di L_{pp} e H_s secondo quanto riportato in tabella:

TAB. 3.6- VALORI DEL COEFFICIENTE C_2 IN FUNZIONE DI H_S E LPP (ROM 3.1-99)

L_{pp} (m)	Significant Wave Height, H_s (m)							
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
≤ 75	0.20	0.17	0.23	0.29	0.31	0.34	0.37	0.40
100	0.10	0.14	0.19	0.23	0.26	0.29	0.32	0.34
150	0	0.09	0.14	0.17	0.21	0.23	0.25	0.27
200	0	0.05	0.10	0.13	0.16	0.19	0.21	0.23
250	0	0.03	0.07	0.11	0.14	0.16	0.18	0.20
300	0	0	0.05	0.08	0.10	0.13	0.16	0.17
400	0	0	0.03	0.06	0.08	0.11	0.14	0.15

In fine i coefficienti C3. C4, C5 e C6 sono vengono definiti secondo quanto indicato in tabella:

TAB. 3.7 - VALORI DEI COEFFICIENTI C_3C_4 C_5 C_6 (ROM 3.1-99)

Symbol	Coefficient Name	Value	Condition
C_3	Load Condition	1.00	Displacement ≥ 90%
		1.20	Displacement ≤ 50%
C_4	Ship Speed	1.00	$F_{nh} \leq 0.05$
		1.25	$F_{nh} = 0.15$
		1.35	$F_{nh} \geq 0.25$
C_5	Water Depth	1.00	$h/T \geq 1.50$
		1.10	$h/T \leq 1.05$
C_6	Wave Incidence Angle	1.00	$\psi \leq 15$ deg
		1.40	$\psi = 35$ deg
		1.70	$\psi = 90$ deg (Beam)

Il risultato dei massimi spostamenti verticali Z_{wave} indotti dalle onde per le diverse navi di progetto nelle relative aree di manovra sono presentati nella Tab. 3.8.

Si fa notare che per il calcolo di P_m si è assunto che ogni tipologia di nave arrivi nel porto di Vado Ligure con il massimo pescaggio una volta alla settimana. Questo significa che ogni nave manovra nell'area portuale 52x2 (arrivo e partenza) volte all'anno e considerando la vita utile del porto di 50 anni si ottiene un valore di N_{Case}=5200. In fine, as-

segnando a P_{DL} un valore di 0,5, ritenuto accettabile nel caso di fondale limoso, si arriva a definire il valore di $P_m=1{,}333\cdot10^{-4}$.

TAB. 3.8 - MASSIMI SPOSTAMENTI VERTICALI INDOTTI DALLE ONDE LIMITE PER LA MANOVRABILITÀ SULLE NAVI DI PROGETTO IN MANOVRA NELL'AREA PORTUALE

Nave di progetto	Zona di manovra (Accosto)	T_{max}	h_{min}	L_{pp}	F_{nh}	Angolo di incidenza delle onde	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	H_s Limite	**Z_{wave}**
		(m)	(m s.l.m.m.)	(m)	(-)	(°)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(m)	**(m)**
Emma Maersk	A	13,75	15,00	376	0,08	25	2,7	0,02	1,1	1,25	1,1	1,2	1,3	**0,13**
Emma Maersk	B	16,00	17,25	376	0,12	35	2,7	0,02	1,0	1,25	1,1	1,4	1,3	**0,13**
Jo Jin Maru	C	14,50	16,30	236	0,12	25	2,7	0,06	1,0	1,25	1,1	1,2	1,3	**0,34**
Ottomana	D	9,96	12,00	158	0,09	10	2,7	0,10	1,0	1,25	1,1	1,0	1,3	**0,48**

3.7. Definizione dei franchi lordi minimi e verifica dei fondali di progetto

Una volta calcolati i vari fattori che concorrono alla definizione del franco lordo sottochiglia minimo e individuato l'abbassamento quasi statico del livello marino di progetto, è possibile verificare l'adeguatezza delle quote di dragaggio previste per le varie aree portuali.

In Tab. 3.9 sono riassunti i contributi all'incremento del pescaggio della nave per effetto degli agenti metereologici e dell'assetto in navigazione, il valore scelto per il franco netto sottochiglia e l'abbassamento del livello del mare associato alla bassa marea di progetto.

TAB. 3.9 - FRANCHI LORDI MINIMI E FONDALI DI PROGETTO NELLE AREE DI MANOVRA

Nave di progetto	Zona di manovra (Accosto)	T_{max}	$UKC_{netto\ minimo}$	Z_{wind}	Z_{wave}	Squat	**$UKC_{lordo\ minimo}$**	**MLWS**	**Fondale minimo necessario**	**Fondale minimo di progetto**
		(m)		(m)	(m)	(m)	**(m)**	**(m s,l,m,m,)**	**(m s.l,m,m,)**	**(m s.l.m.m)**
Emma Maersk	A	13,75	0,5	0,42	0,13	0,04	**1,08**	**-0,15**	**14,98**	**15,0**
Emma Maersk	B	16,0	0,5	0,42	0,13	0,04	**1,09**	**-0,15**	**17,24**	**17,25**
Jo Jin Maru	C	14,6	0,5	0,28	0,34	0,08	**1,20**	**-0,15**	**15,95**	**16,25**
Ottomana	D	9,96	0,5	0,20	0,48	0,05	**1,23**	**-0,15**	**11,34**	**12,0**

Come si osserva i fondali previsti nelle aree di manovra garantiscono il rispetto dei franchi lordi minimi richiesti per la manovrabilità in sicurezza delle navi di progetto, assicurando un UKC_{lordo} sempre superiore al metro. Questo valore minimo di UKC_{lordo} raccomandato dai terminalisti e dalla letteratura specializzata ("Guidelines for the Safe Design of Commercial Shipping Channels" , Fisheries and Oceans Canada.), permette al contempo di assicurare un tirante idrico sotto la nave tale da garantire il rispetto dei requisiti minimi di manovrabilità dell'imbarcazione in "acque basse".

4. VERIFICA DELLE AREE PER LA MANOVRA DELLE NAVI

4.1. Introduzione

A valle delle valutazioni presentate nel capitolo precedente in merito ai fondali minimi richiesti per garantire la navigazione e la manovra in sicurezza delle navi di progetto, e considerati i fondali naturali nell'area portuale, si evince la necessità di prevedere il dragaggio delle seguenti aree:

- radice della banchina container;
- estremità nord-ovest della banchina rinfuse;
- lungo tutta la banchina petroli.
-

Ai fini di verificare l'adeguatezza degli spazi previsti per la manovra di ciascuna tipologia di unità navale e minimizzare per quanto possibile i dragaggi, sono state svolte simulazioni di manovra in tempo reale delle navi di progetto da parte di CETENA S.p.A. per conto dell'Autorità Portuale di Savona. Le simulazioni delle manovre sono state condotte considerando le condizioni di moto ondoso/vento caratteristiche del paraggio di Vado Ligure, e gli ingombri presenti nelle aree di manovra.

Nel modello matematico sono state incluse le nuove opere che caratterizzano la piattaforma e considerando anche la realizzazione della nuova diga foranea. A riguardo sono state considerate due estensioni di diga foranea:

- estensione della diga foranea come da Piano Regolatore (configurazione della 'diga finale');
- estensione più limitata (300 m in meno) rispetto a quella del PRP (configurazione della 'diga di prima fase').



FIG. 4.1 - CONFIGURAZIONE DELLE OPERE CON FIGA FORANEA COME DA PRP

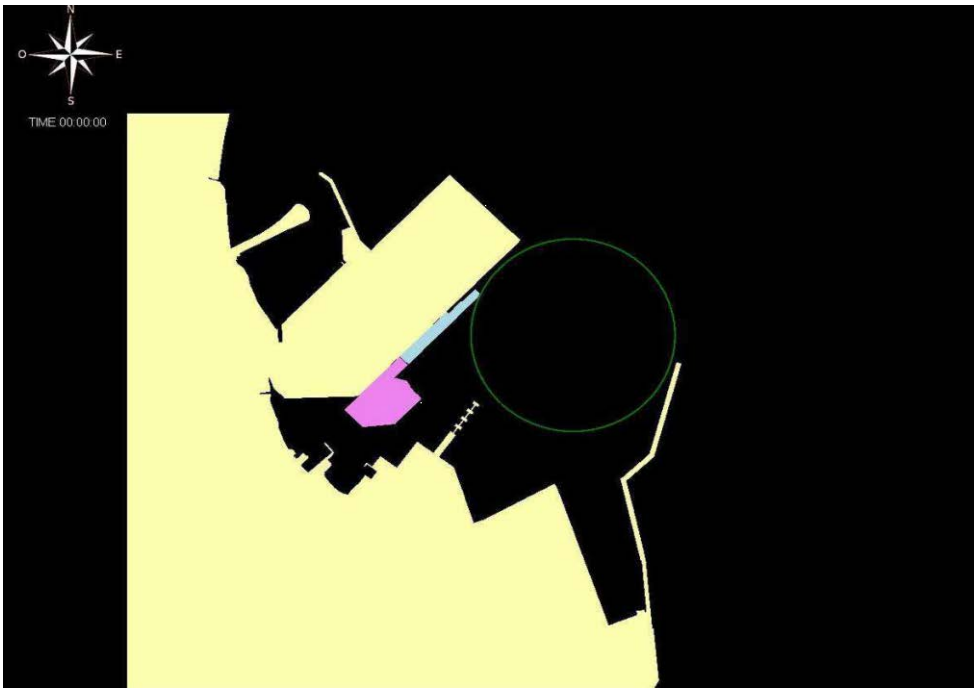


FIG. 4.2 - CONFIGURAZIONE DELLE OPERE CON DIGA FORANEA DI PRIMA FASE

Il programma di simulazioni ha esaminato la manovrabilità di due tipologie di unità navali all'interno del nuovo Porto di Vado Ligure. Le due unità navali monoelica che sono state studiate in manovra sia di ingresso che di uscita, sono: la porta container Emma Maersk i cui parametri caratteristici sono presentati nel capitolo 2 , avente dimensioni massime pari a 398 m di lunghezza e 56.4 m di larghezza, due diverse immersioni (T=13.75 m in condizioni di allibo e T= 16 m) e dotata di due thruster sia a prua che a poppa; una nave bulk carrier di tipo mini-capesize, avente dimensioni massime pari a 255 m di lunghezza e 43 m di larghezza, immersione T= 13 m e senza thruster (vedi capitolo 2).

Le manovre si sono svolte anche con l'assistenza di rimorchiatori a propulsione azimutale fino ad un numero massimo di tre, considerati da 45 t di tiro massimo, corrispondenti a quelli attualmente in uso nel Porto di Vado Ligure. Le prove sono state condotte in presenza di agenti meteomarini caratteristici del paraggio di Vado Ligure, ad eccezione delle prove in calma assoluta utilizzate per tarare il modello e consentire ai Piloti esecutori delle manovre di fare pratica nell'ambito della specifica situazione locale. In particolare, è stato considerato un vento proveniente dal I e IV quadrante con direzioni da 60°N, 100°N e 320°N e di intensità variabile tra i 15, 20 e 30 nodi di velocità (con moto ondoso associato avente H_s compresa tra di 2.1 m e 1-1.6 m)

Il rapporto redatto dal Cetena a seguito delle simulazioni si intitola "Simulazioni di manovra per il nuovo Porto di Vado Ligure" ed è allegato al presente progetto esecutivo.

4.2. Condizioni meteomarine considerate durante le manovre

Per le simulazioni sono state individuate tre diverse condizioni di riferimento (60°N, 100°N, 320°N), caratterizzate da due velocità del vento (rispettivamente 20 nodi per i venti dal primo quadrante e 30 nodi per il vento da terra, simulati con raffica), e due altezze d'onda significativa (1.6 m per le direzioni 60°N e 320°N e 2.1 m per la direzione 100°N). La corrente indotta da marea e vento, analogamente all'agitazione ondosa, è stata ricavata dai modelli matematici di calcolo e implementata nei file di scenario del simulatore.

Le condizioni meteomarine adottate sono state sintetizzate nella seguente Tab. 4.1:

TAB. 4.1 - CONDIZIONI METEOMARINE CONSIDERATE NELLE SIMULAZIONI DI MANOVRA IN TEMPO REALE

DIREZIONI VENTO E MARE	SCENARIO	CARATTERISTICHE VENTO E MARE	
W (60°N) – ~**Grecale + Mare**	frequente	Vento	20 kn
		Onda	Hs=1.6 m, Tp= 6.0 s, da 60°N → con smorzamento interno trascurabile, calcolato ([5,6])
SW (100°N) – ~**Levante + Mare**	frequente	Vento	20 kn
		Onda	Hs=2.1 m, Tp= 6.5 s, da 100°N → con smorzamento interno calcolato ([5,6])
NW (320°N) – ~**Maestrale + Mare** *(swell)*	frequente	Vento	30 kn
		Onda	Hs=1.6 m, Tp= 6.0 s, da 60°N → con smorzamento interno calcolato ([5,6])

In aggiunta alle simulazioni con le combinazioni di onda, vento e corrente presentate in tabella, si sono eseguite una serie di prove per definire le condizione di vento limite al variare della direzione di provenienza, per le quali le manovre di ormeggio e disormeggio risultano fattibili anche senza l'utilizzo dei rimorchiatori.

Si sottolinea a riguardo che con onde aventi Hs>1 m l'operatività dei rimorchiatori si riduce drasticamente arrivando pressochè ad annullarsi per onde superiori a 1,5 m.

4.3. Elenco ed esiti delle manovre eseguite

Nelle tabelle seguenti si riporta una sintesi delle simulazioni condotte e degli esiti delle manovre. In generale come sottolineato dai Piloti, indipendentemente dalla loro riuscita al simulatore, le manovre effettivamente portate a termine in condizioni di massimo utilizzo della potenza dei rimorchiatori e/o dei thruster sono da considerarsi in ogni caso al

limite della fattibilità. Infatti eventuali avarie nel funzionamento degli organi di governo, così come rotture dei cavi dei rimorchiatori, possono costituire elementi di pericolo da tenere in debito conto nel caso "reale". Pertanto, si è evidenziata la necessità, nella realtà, di dotarsi di rimorchiatori più potenti, in numero adeguato per poter garantire la manovra delle navi in sicurezza anche nelle condizioni più gravose di mare e vento che si verificano nel paraggio in studio.

Infine un risultato da evidenziare riguarda l'operatività delle banchine container che viene penalizzata con la configurazione portuale di diga di prima fase, in quanto la maggiore apertura nei confronti della penetrazione ondosa dai quadranti orientali (60-100°N) rispetto al caso di diga finale, non consente più l'utilizzo dei rimorchiatori, che risultano necessari per poter manovrare in sicurezza in presenza di vento superiore ai 15 nodi di intensità. Fino ai 15 nodi invece è risultato possibile manovrare, per quanto riguarda gli accosti in A e B, col solo utilizzo dei thruster (bow & stern) di cui la nave portacontainer è dotata.

Si rimanda per i dettagli alla relazione del CETENA.

Simulazioni di manovra per il nuovo Porto di Vado Ligure Confronto fra diga di prima fase e finale, accosti terminal container e rinfuse - Lista FINALE delle simulazioni svolte dal 21 al 25 Luglio 2014 -												
ID Manovra & Tipo (I/U)		**Nave**	**T [m]**	**Accosto**	**Esito**	**Cfg Diga**	**Hs**	**Tz**	**Dir wave**	**WIND speed**	**Dir Wind**	**Correnti**
							m	s	°N	kn	°N	°N
01	I	Emma	13.75	A	**Riuscita**		*calma assoluta*					
01_BIS	I	Emma	13.75	A	**Riuscita**		*calma assoluta*					
01_U	U	Emma	13.75	A	**Riuscita**		*calma assoluta*					
01_EVO_SN	I	Emma	13.75	A	**Riuscita**		*calma assoluta*					
02	I	Emma	13.75	A	**NON Riuscita**		**1.6**	**6**	**60**	**30**	**320**	**320**
02_BIS	I	Emma	13.75	A	**Riuscita**		1.6	6	60	30	320	320
03	U	Emma	13.75	A	**Riuscita**		1.6	6	60	30	320	320
04	I	Emma	16	B	**Riuscita al limite**		1.6	6	60	30	320	320
05	U	Emma	16	B	**Riuscita**		1.6	6	60	30	320	320
06	I	Emma	13.75	A	**Riuscita**	**Finale**	**1.6**	**6**	**60**	**20**	**60**	**60**
07	U	Emma	13.75	A	**Riuscita**		1.6	6	60	20	60	60
08	I	Emma	16	B	**Riuscita al limite**		**2.1**	**6.5**	**100**	**25**	**130**	**100**
09	U	Emma	16	B	**Riuscita al limite**		2.1	6.5	100	25	130	100
10	I	Emma	13.75	A	**NON Riuscita**		**2.1**	**6.5**	**100**	**20**	**100**	**100**
10_BIS	I	Emma	13.75	A	**Riuscita**		2.1	6.5	100	20	100	100
10_APSV	I	Emma	13.75	B	**Riuscita**		2.1	6.5	100	20	100	100
11	U	Emma	13.75	A	**Riuscita**		2.1	6.5	100	20	100	100
12	I	Emma	16	B	**Riuscita**		2.1	6.5	100	20	100	100
13	U	Emma	16	B	**Riuscita**		2.1	6.5	100	20	100	100
14	I	Emma	13.75	A	***Riuscita***		**2.1**	**6.5**	**100**	**20**	**100**	**100**
14_BIS	I	Emma	13.75	A	**Riuscita**		**1**	6.5	100	**15**	100	100
15	U	Emma	13.75	A	**NON Riuscita**		**2.1**	**6.5**	**100**	**25**	**100**	**100**
15_BIS	U	Emma	13.75	A	**Riuscita**		**1**	6.5	100	**15**	100	100
16	I	Emma	13.75	A	**Riuscita**	**1ª Fase**	**(1.6)**	**6**	**60**	**30**	**320**	**320**
17	U	Emma	13.75	A	**Riuscita**		(1.6)	6	60	30	320	320
18	I	Emma	16	B	**Riuscita**		**1**	6.5	100	**15**	100	100
19	U	Emma	16	B	**Riuscita al limite**		1	6.5	100	15	**130**	100

Simulazioni di manovra per il nuovo Porto di Vado Ligure
Confronto fra diga di prima fase e finale, accosti terminal container e rinfuse
- Lista FINALE delle simulazioni svolte dal 21 al 25 Luglio 2014 -

ID Manovra & Tipo (I/U)		Nave	T [m]	Accosto	Esito	Cfg Diga	Hs	Tz	Dir wave	WIND speed	Dir Wind	Correnti
							m	s	°N	kn	°N	°N
19_BIS	U	Emma	16	B	**NON Riuscita**		**1**	**6.5**	**100**	**20**	**130**	**100**
20	U	Emma	13.75	A	**Riuscita**	**1ª Fase**	**0**	**0**	**0**	**20**	**320**	**320**
20_BIS	U	Emma	13.75	A	**Riuscita**		0	0	0	**30**	**320**	**320**
21	U	Emma	16	B	**Riuscita**		0	0	0	30	**320**	**320**
22	I	Bulk	13	C	**Riuscita**	**Finale**	*calma assoluta*					
23	I	Bulk	13	C	**Riuscita**		**1.6**	**6**	**60**	**20**	**60**	**60**
24	U	Bulk	13	C	**Riuscita**		1.6	6	60	20	60	60
25	I	Bulk	13	C	**Riuscita**		**1**	**6.5**	**100**	**15**	**100**	**100**
26	U	Bulk	13	C	**Riuscita**		1	6.5	100	**20**	**100**	**100**
26_APSV	U	Bulk	13	C	**Riuscita**		1	6.5	100	20	100	100
27	I	Bulk	13	C	**Riuscita**		1	6	60	**15**	**320**	**320**
27_BIS	I	Bulk	13	C	**Riuscita**		**0**	**0**	**0**	**30**	**320**	**320**
27_U	U	Bulk	13	C	**Riuscita**		0	0	0	30	320	320
28_CFG_ FINALE	U	Bulk	13	C	**Riuscita**		**2.1**	**6.5**	**100**	**20**	**100**	**100**
28	U	Bulk	13	C	**Riuscita**	**1ª Fase**	2.1	6.5	100	20	100	100

4.4. Verifica delle aree di manovra

Nel presente paragrafo si presentano i risultati delle simulazioni di manovra delle navi di progetto in tempo reale che hanno consentito di verificare gli spazi necessari alle navi di progetto per ormeggiare e disormeggiare e pertanto definire le aree di dragaggio.

Con riferimento all'area del dragaggio in radice della piattaforma (banchina container A), definita in seguito ad incontri con la Capitaneria di Porto avvenuti in fase di progettazione esecutiva, si è osservato che durante la manovra di ormeggio M02 non c'erano le necessarie condizioni di sicurezza per accostare in banchina.

La manovra M02 è una manovra di ormeggio con condizioni di vento severe, sia in termini di intensità, 30 nodi, che di direzione, 320°N (trasversale alla nave), ma che tuttavia si verifica non di rado nel paraggio di Vado Ligure. Il vento da terra (320°N) che in-

veste la portacontenitori Emma Maersk al traverso sulla murata di sinistra all'ormeggio, risulta essere il più gravoso per l'accosto e il successivo ormeggio, dal momento che tende ad allontanare la nave dalla banchina, spingendola verso una zona di bassi fondali. Come si vede infatti dalla Fig. 4.3, la nave in avvicinamento all'accosto container in radice sfiora il limite del dragaggio, pur essendo assistita da 3 rimorchiatori.

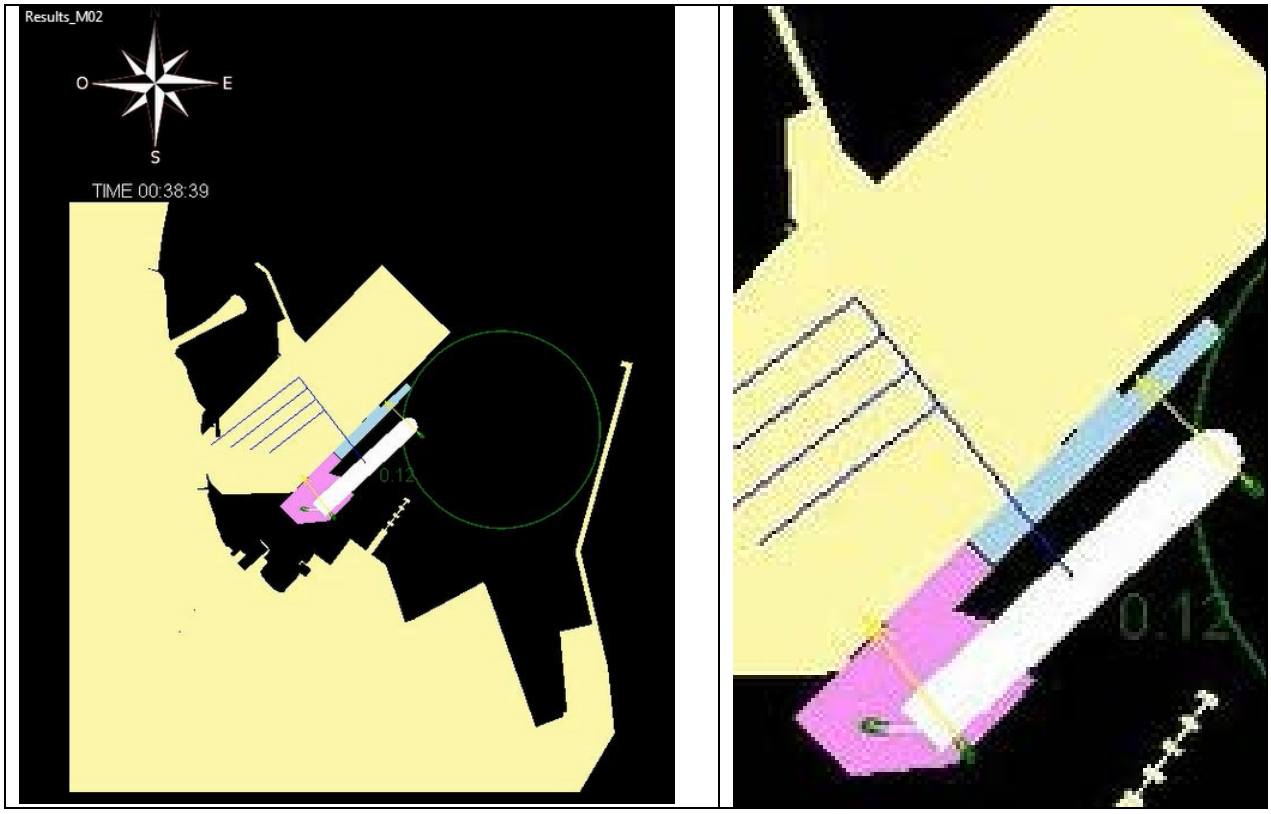


FIG. 4.3 - INVILUPPO DELLA ROTTA TENUTA DALLA PORTACONTAINER EMMA MAERSK IN ACCOSTO PRESSO LA BANCHINA A - SIMULAZIONE M02

Di conseguenza, si è deciso di aumentare di 15 m la larghezza del dragaggio in radice (distanza tra filo banchina e limite dragaggio), che era stato precedentemente fissato a 135 m durante gli incontri con la Capitaneria di Porto.

Per quanto riguarda invece il dragaggio in corrispondenza della banchina rinfuse, tutte le simulazioni eseguite hanno evidenziato che l'area del dragaggio alla -16,25 m, concordata in precedenza con la Capitaneria di Porto e Piloti, è adeguata a permettere le

manovre di ormeggio e disormeggio in completa sicurezza, anche considerando l'eventuale presenza di una nave petroli ormeggiata al pontile dell'accosto temporaneo. In Fig. 4.4 e Fig. 4.5 sono riportate a titolo di esempio l'inviluppo della rotta tenuta dalla nave rinfuse durante una manovra di ormeggio e durante una di disormeggio.

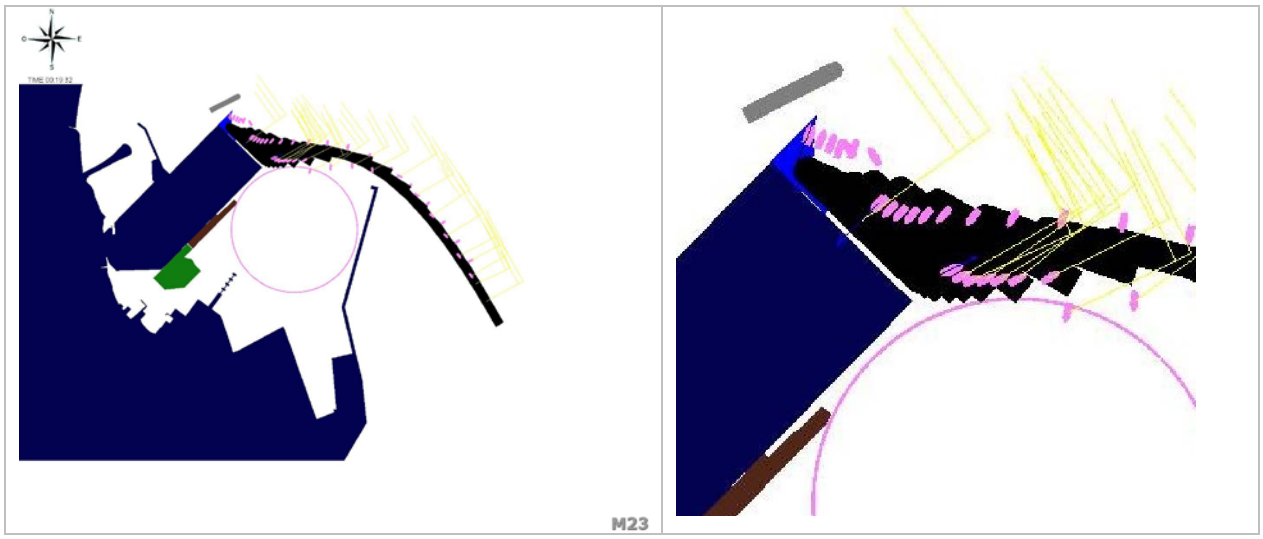


FIG. 4.4 - MANOVRA DI ACCOSTO PER LA NAVE RINFUSE - M23

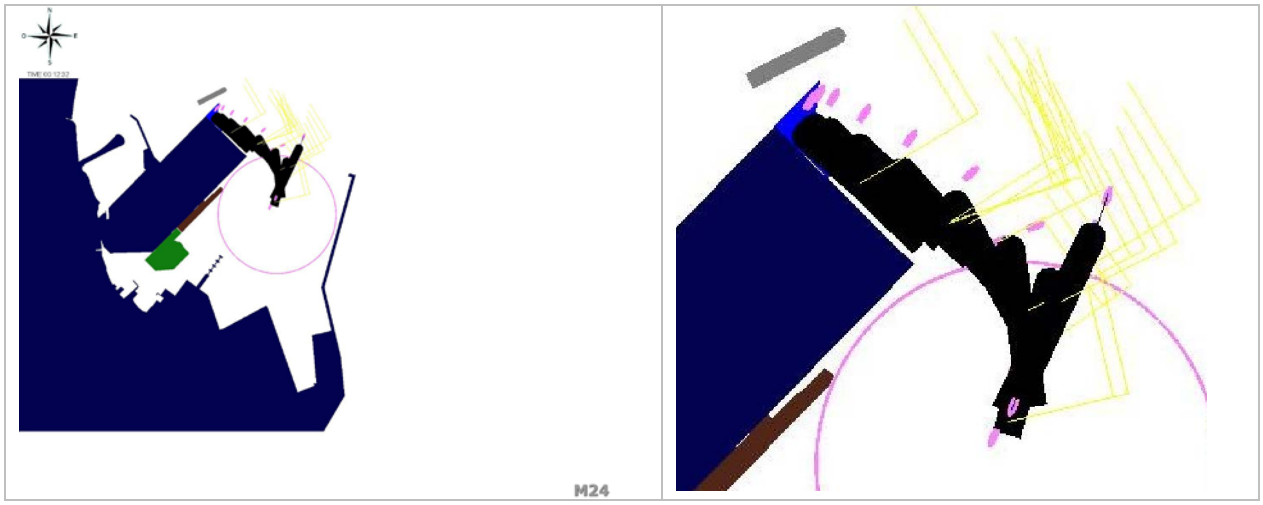


FIG. 4.5 - MANOVRA DI DISORMEGGIO PER LA NAVE RINFUSE - M24

5. VERIFICA DEI FONDALI ALL'ORMEGGIO IN BANCHINA

5.1. Introduzione

Per le navi all'ormeggio all'interno di un sistema portuale è indispensabile assicurare che tra la profondità del fondale h e la massima immersione della chiglia della nave T_{max} (al netto di specifici fattori di tolleranza da quantificare di volta in volta), permanga comunque un adeguato tirante idrico UKC_{netto}, il così detto "franco netto sotto chiglia" (net underkeel clearence). Questo al fine di scongiurare fenomeni di impatto incontrollato della chiglia della nave contro il fondale marino (incagliamento/arenamento). Sulla base di queste considerazioni la profondità minima dei fondali nelle aree portuali necessaria a garantire l'ormeggio della nave di progetto in sicurezza è data dalla seguente relazione:

$$h_{min}-\Delta h_{marea}=T_{max}+UKC_{netto}+\Delta T_{ormeggio}$$

dove

Δh_{marea}: massimi "abbassamenti" del livello marino dovuti alla bassa marea di progetto

T_{max} massimo pescaggio della nave di progetto

UKC_{netto}: franco netto sottochiglia

$\Delta T_{ormeggio}$: incremento di pescaggio della nave dovuto all'esposizione dello scafo ai fattori meteomarini (vento, moto ondoso, correnti).

Come fattore $\Delta T_{ormeggio}$ di progetto è stata assunta la combinazione dei movimenti di pitch, roll e heave (vedi Fig. 3.4) che massimizza l'incremento del pescaggio della nave in condizioni meteomarine limite per l'operatività.

La somma del termine UKC_{netto} con il termine $\Delta T_{ormeggio}$ viene detta "franco lordo sottochiglia" (gross underkeel clearence) e rappresenta il tirante minimo richiesto sottochiglia al lordo di tutte le varie tolleranze sul pescaggio della nave.

Nel presente capitolo vengono quantificati i suddetti fattori che concorrono alla definizione del fondale minimo necessario all'ormeggio e in particolare i risultati dell'analisi

con il software OPTIMOOR per la stima dei massimi spostamenti verticali della nave in banchina. I calcoli con il software OPTIMOOR sono presentati per esteso nella relazione del presente progetto intitolata "Strutture per l'accosto e sistemi per l'ormeggio in banchina - Relazione di calcolo" (MI010P-PE-G-L-R-4123-C0).

Sulla base di tali risultati viene poi dimostrata l'adeguatezza dei fondali adottati nell'area portuale di Vado Ligure.

5.2. Livello marino di riferimento

Il massimo "abbassamento" quasi-statico del livello marino assunto per la definizione dei fondali nelle aree di manovra del nuovo porto di Vado Ligure è uguale a -0.15 m s.l.m.m e corrisponde alla minima marea astronomica sizigiale (MLWS, Mean Lower Water Spring).

5.3. Franco netto sottochiglia minimo

Il franco netto sottochiglia è definito come il minimo margine da garantire tra la chiglia e il fondale di progetto per la all'ormeggio con condizioni di vento e onda definite limite per l'operatività. In altre parole si tratta di un margine di sicurezza da garantire sotto la chiglia dopo aver sottratto gli altri fattori che influenzano il massimo pescaggio della nave e considerando un abbassamento del livello marino associato ad una bassa marea di progetto.

Questo parametro è tipicamente correlato alla natura del fondale (sabbioso o roccioso), alle condizioni di ormeggio ed al "danno" accettabile in caso di incagliamento/arenamento dell'imbarcazione.

Nel presente progetto, con riferimento a quanto riportato nel Rapporto 121-2014 del PIANC e in base a quanto raccomandato dai terminalisti, si è assunto un franco netto sotto chiglia UKC_{netto} di 0.5 m, per tutte le navi all'ormeggio.

5.4. Massimi spostamenti verticali delle navi in banchina

5.4.1. Analisi eseguite con il modello OPTIMOOR

L'analisi degli spostamenti verticali delle navi all'ormeggio che concorrono alla definizione del franco di sicurezza sottochiglia delle navi di progetto è stata condotta mediante l'ausilio di OPTIMOOR (Versione 6.2.9).
Si tratta di un software specialistico implementato dalla *Tension Technology International* (TTI) che consente la verifica degli schemi di ormeggio con il controllo diretto dello stato tensionale nelle linee di ormeggio, dei carichi sulle bitte, della performance dei fenders sulla base delle raccomandazioni OCIMF (*Oil Companies International Marine Forum*).
Il modello permette inoltre di stimare gli spostamenti della nave in banchina tenendo in considerazione:

- l'intensità del vento;
- lo spettro di moto ondoso;
- l'orientamento della nave ormeggiata rispetto alla direzione delle forzanti;
- le caratteristiche dei parabordi e dei cavi di ormeggio;
- il franco sottochiglia;
- le caratteristiche costruttive della struttura di banchina.

Le condizioni meteomarine di riferimento per la verifica dei sistemi d'ormeggio sono state definite sulla base dei risultati delle analisi meteomarine presentate all'interno della "Relazione meteomarina" (MI010P-PE-G-L-R-4120-C0).

Per la valutazione dei massimi spostamenti verticali delle navi all'ormeggio si è fatto riferimento alla cosidetta 'condizione operativa limite (CO)'. In proposito è stato considerato un vento di intensità 30 nodi, ritenuto sufficientemente rappresentativo delle condizioni operative di tutte le banchine e ad esso è stato associata la condizione ondosa (specifica di ogni banchina) che determina il raggiungimento del valore limite degli spostamenti ammessi in banchina al fine di consentire il carico/scarico delle merci. La

direzione di provenienza del moto ondoso è stata selezionata tenendo conto delle caratteristiche di esposizione di ciascuna banchina ed è stata assunta anche come direzione di provenienza del vento.

Per quanto riguarda in particolare la banchina D, le condizioni meteomarine di riferimento per la verifica degli ormeggi sono state definite sulla base dei limiti operativi dell'accosto determinati non tanto dal moto ondoso, dal quale l'accosto risulta in gran parte schermato, quanto dall'intensità del vento. Analogamente a quanto fatto nelle verifiche dei sistemi d'ormeggio eseguite per il Transitorio Petroli (rif. "MI010P-PE-T-N-R-3030-C0.doc") e in conformità con le indicazioni fornite dalla locale Capitaneria di Porto e con le raccomandazioni delle OCIMF, si è assunta come velocità limite del vento per la permanenza della nave in banchina 35 nodi. L'analisi per la banchina D è stata eseguita considerando un vento con provenienza omnidirezionale (OPTIMOOR consente infatti di far variare, nell'ambito della stessa analisi, la direzione di provenienza del vento all'interno dell'intero settore omnidirezionale) ed un moto ondoso di generazione locale proveniente dalla direzione 40°N.

5.4.2. Risultati delle analisi eseguite con il modello OPTIMOOR

L'analisi eseguita con l'ausilio del modello matematico OPTIMOOR ha permesso di calcolare gli spostamenti massimi delle navi nel piano verticale, che includono i contributi di heave, roll e pitch (si veda la Fig. 3.3), i quali concorrono alla definizione del franco di sicurezza sottochiglia delle navi di progetto.

I massimi spostamenti verticali delle navi all'ormeggio si verificano in riferimento alla "condizione limite operativa", caratterizzata da condizioni meteomarine che determinano il raggiungimento degli spostamenti massimi ammissibili al fine di consentire il carico/scarico delle merci. Per le banchine A, B e C l'operatività in banchina è limitata principalmente dal moto ondoso, che risulta però critico in relazione ad eventi caratterizzati da tempi di ritorno dell'ordine di 1 anno.

L'operatività della banchina D, esposta solo al moto ondoso di bassa entità e di generazione locale, risulta invece limitata dall'intensità del vento; in corrispondenza del valore di velocità del vento assunto come limite (35 nodi) sulla base delle indicazioni fornite dalla locale Capitaneria di Porto, gli spostamenti verticali risultano comunque inferiori a quelli limite.

Nelle tabelle seguenti vengono riportati i valori massimi di spostamento verticale calcolati per ciascuna nave di progetto di riferimento per i nuovi accosti della piattaforma, in riferimento ad entrambe le condizioni analizzate.

TAB. 5.1 - TABELLA RIEPILOGATIVA DEI MASSIMI SPOSTAMENTI VERTICALI DELLE NAVI ALL'ORMEGGIO

Banchina di riferimento	Banchina A	Banchina B	Banchina C	Banchina D
Nave di progetto	Emma Maersk allibata	Emma Maersk	Jo Jin Maru allibata	Ottomana
Condizione di verifica	*Operativa limite*	*Operativa limite*	*Operativa limite*	*Operativa limite*
Massimo spostamento verticale (m)	0,5	0,6	1,2	0,2

5.5. Definizione dei franchi lordi minimi e verifica dei fondali di progetto

Una volta calcolati i vari fattori che concorrono alla definizione del franco lordo sotto-chiglia minimo e definito l'abbassamento quasi statico del livello marino di progetto, è possibile verificare l'adeguatezza delle quote di dragaggio previste per ognuna delle aree portuali. Nella tabella seguente sono riassunti i contributi all'incremento del pescaggio della nave per effetto degli agenti metereologici, il valore scelto per il franco netto sottochiglia e l'abbassamento del livello del mare di riferimento.

TAB. 5.2 - FRANCHI LORDI MINIMI E FONDALI DI PROGETTO AGLI ORMEGGI

Nave di progetto	Accosto	T_{max}	$UKC_{netto\ minimo}$	Massimi spostamenti verticali	**$UKC_{lordo\ minimo}$**	**MLWS**	**Fondale minimo necessario**	**Fondale minimo di progetto**
		(m)	(m)	(m)	**(m)**	**(m s.l.m.m.)**	**(m s.l.m.m.)**	**(m s.l.m.m)**
Emma Maersk - allibata	A	13,75	0,5	0,5	**1,0**	**-0,15**	**14,9**	**15,00**
Emma Maersk	B	16	0,5	0,6	**1,1**	**-0,15**	**17,25**	**17,25**
Jo Jin Maru-allibata	C	13,5	0,5	1,2	**1,7**	**-0,15**	**15,35**	**15,50**
Jo Jin Maru	C	14,6	0,5	0,0*	**0,5**	**-0,15**	**15,25**	**15,50**
Ottomana	D	9,96	0,5	0,2	**0,7**	**-0,15**	**10,81**	**12,00**

** In condizioni di calma la nave può stare all'ormeggio anche a pieno carico.*

Con riferimento alle sezioni di progetto della protezione dei fondali al piede delle strutture di banchina in corrispondenza dei vari accosti, si osserva che i franchi di progetto sono rispettati in per tutte le sezioni. Si fa comunque notare che lungo l'accosto container B, per un breve tratto (trasversalmente alla banchina) in vicinanza del masso guardiano, la protezione del piede dei cassoni presenta profondità inferiori rispetto a quella

definita minima di progetto, raggiungendo puntualmente quote di -15,50 m s.l.m.m (invece di 17,25 m s.l.m.m.). A riguardo nel paragrafo seguente si presenta uno studio dell'ingombro dell'effettiva sezione trasversale della carena della nave di progetto Emma Maersk a pieno carico ormeggiata all'accosto B, al fine di dimostrare comunque l'adeguatezza delle quote di progetto della protezione dei fondali in corrispondenza di tutto l'accosto.

Per completezza vengono inoltre presentate gli ingombri delle sezioni più critiche delle altre navi di progetto ormeggiate nei relativi accosti.

5.6. Verifica dei franchi sottochiglia di progetto per le navi all'ormeggio

5.6.1. Accosto A e B - Container

Dai risultati delle analisi sugli spostamenti delle navi container di progetto all'ormeggio risulta che per la sicurezza e l'operatività in banchina è necessario garantire sotto ogni punto della carena della nave un franco totale minimo di 1,25 m sia per l'accosto A, dove la Emma Maersk ormeggia allibata (pescaggio massimo di 13,75 m) sia per l'accosto B, dove la Emma Maersk ormeggia a pieno carico (pescaggio di 16,00 m). Tale franco si intende inclusivo dell'abbassamento quasi statico del livello medio del mare per effetto della bassa marea di riferimento.

Nelle figure seguenti sono presentate le sezioni trasversali più critiche della carena della Emma Maersk ai fini della verifica dell'adeguatezza dei fondali in banchina. Nelle stesse figure sono evidenziati i franchi di sicurezza sottochiglia disponibili; in proposito si fa notare che, anche considerando i parabordi compressi, in tutte le sezioni viene rispettato il franco minimo di sicurezza.

La sezione tipo A è rappresentativa delle caratteristiche della banchina container A dove la Emma Maersk può ormeggiare in condizioni di allibo (pescaggio massimo 13.75 m). Per questa sezione A (dove è prevista la protezione in materassi) è stata considerata ai fini della determinazione del franco sottochiglia, la sezione della nave di forma più cri-

tica che è ubicata nella parte centrale della nave (progressiva 213). In questa situazione il franco sottochiglia con o senza parabordi compressi è pari a 2.5 m.

Le sezioni della protezione del fondale B, C, D, E sono rappresentative delle caratteristiche della banchina container B dove la Emma Maersk può ormeggiare a pieno carico (pescaggio massimo 16 m). Per queste sezioni (dove è prevista la protezione in materassi) è stata considerata ai fini della determinazione del franco sottochiglia, la sezione della nave di forma più critica (progressiva 213) che è ubicata nella parte centrale della nave. In questa situazione il minimo franco sottochiglia con o senza parabordi compressi è pari a 1.25 m.

La sezione F è rappresentativa delle caratteristiche della banchina container B dove la Emma Maersk può ormeggiare a pieno carico (pescaggio massimo 16 m). Per questa sezione F (dove è prevista la protezione in massi naturali) è stata considerata ai fini della determinazione del franco sottochiglia, la sezione della nave di progressiva 260, in relazione ad una posizione della nave in banchina spostata più verso mare rispetto alla posizione di ormeggio di progetto. In questa situazione il franco sottochiglia senza parabordi compressi è pari a 3.76 m e con parabordi compressi è pari 3.20 m.

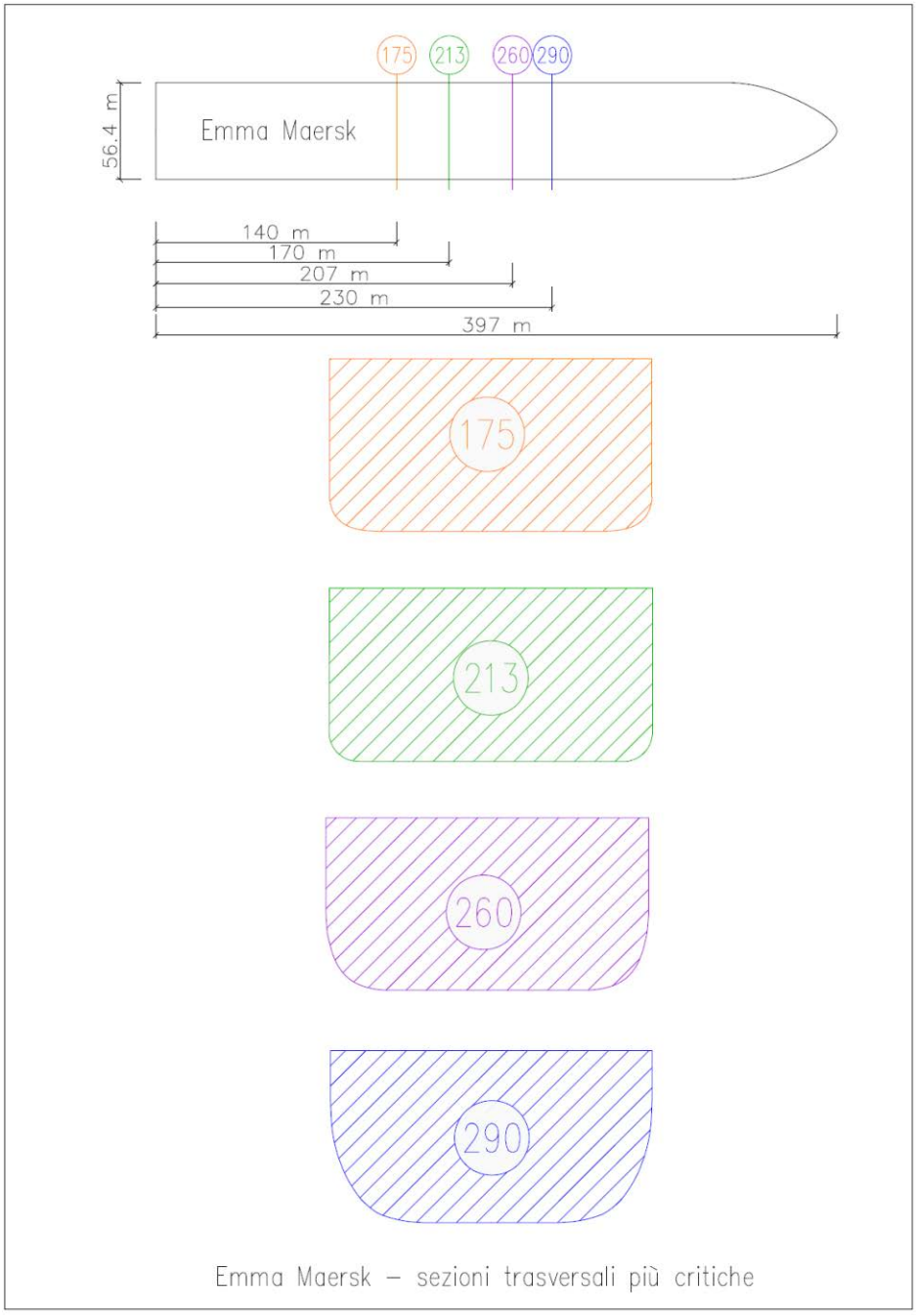


FIG. 5.1 - SEZIONI TRASVERSALI CRITICHE DELLA CARENA DELLA NAVE EMMA MAERSK

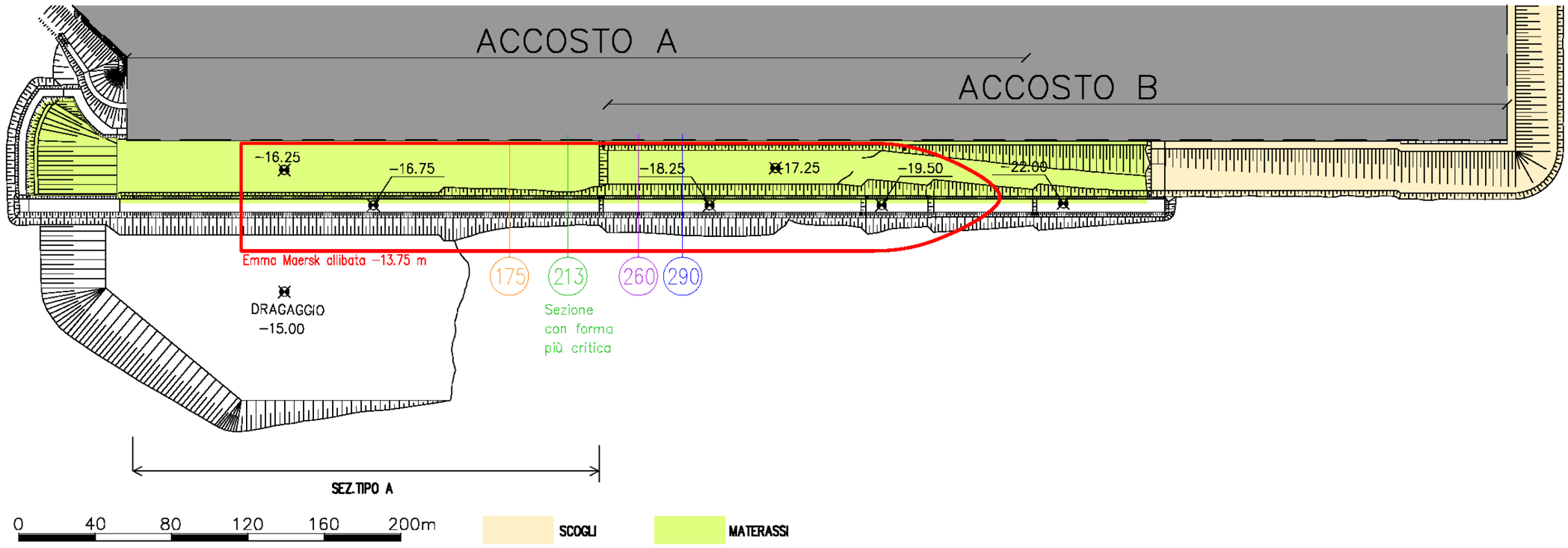


FIG. 5.2 - ACCOSTO A - POSIZIONE DELLA NAVE EMMA MAERSK CON EVIDENZIATE LE SEZIONI TRASVERSALI CRITICHE DELLA CARENA

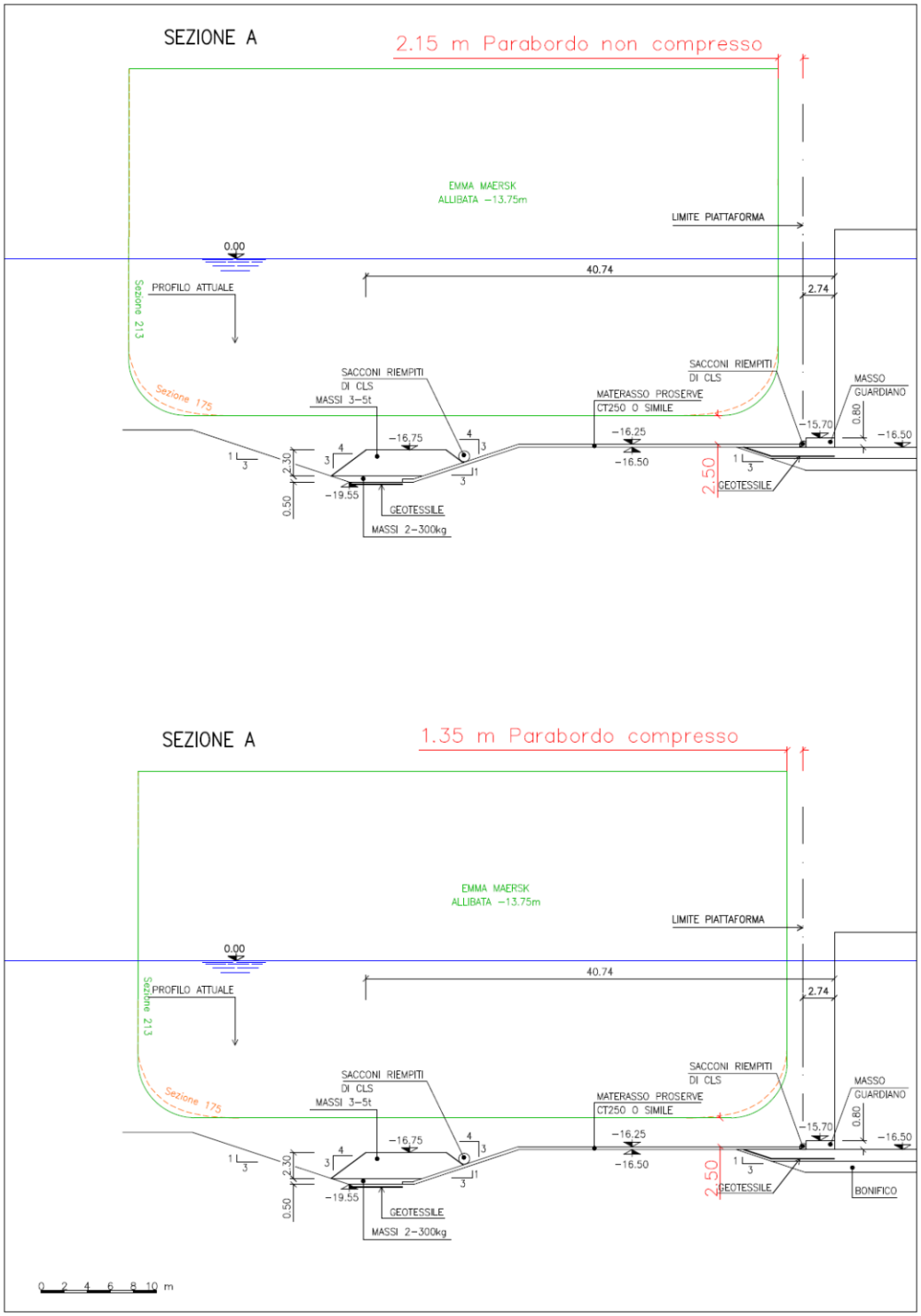


FIG. 5.3 - ACCOSTO A – SEZIONE CRITICA DELLA NAVE EMMA MAERSK ALLIBATA (PESCAGGIO -13,75 M) : FRANCO DI SICUREZZA SOTTOCHIGLIA.

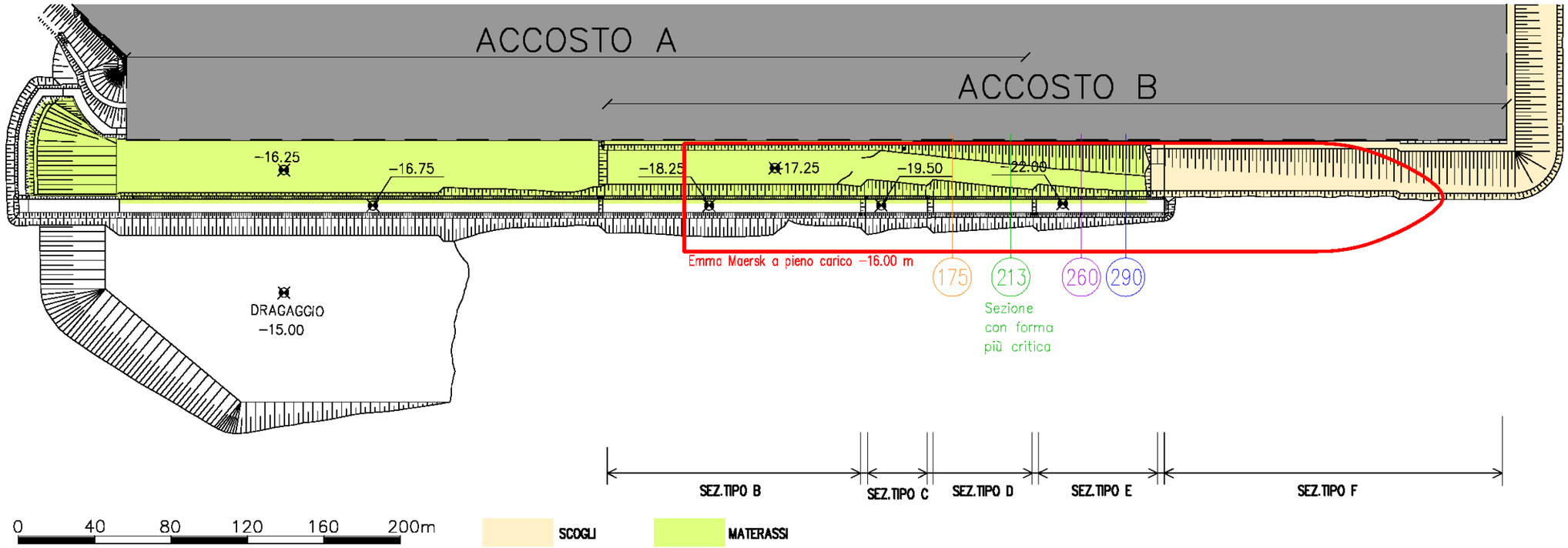


FIG. 5.4 - ACCOSTO B - POSIZIONE DELLA NAVE EMMA MAERSK CON EVIDENZIATE LE SEZIONI TRASVERSALI CRITICHE DELLA CARENA

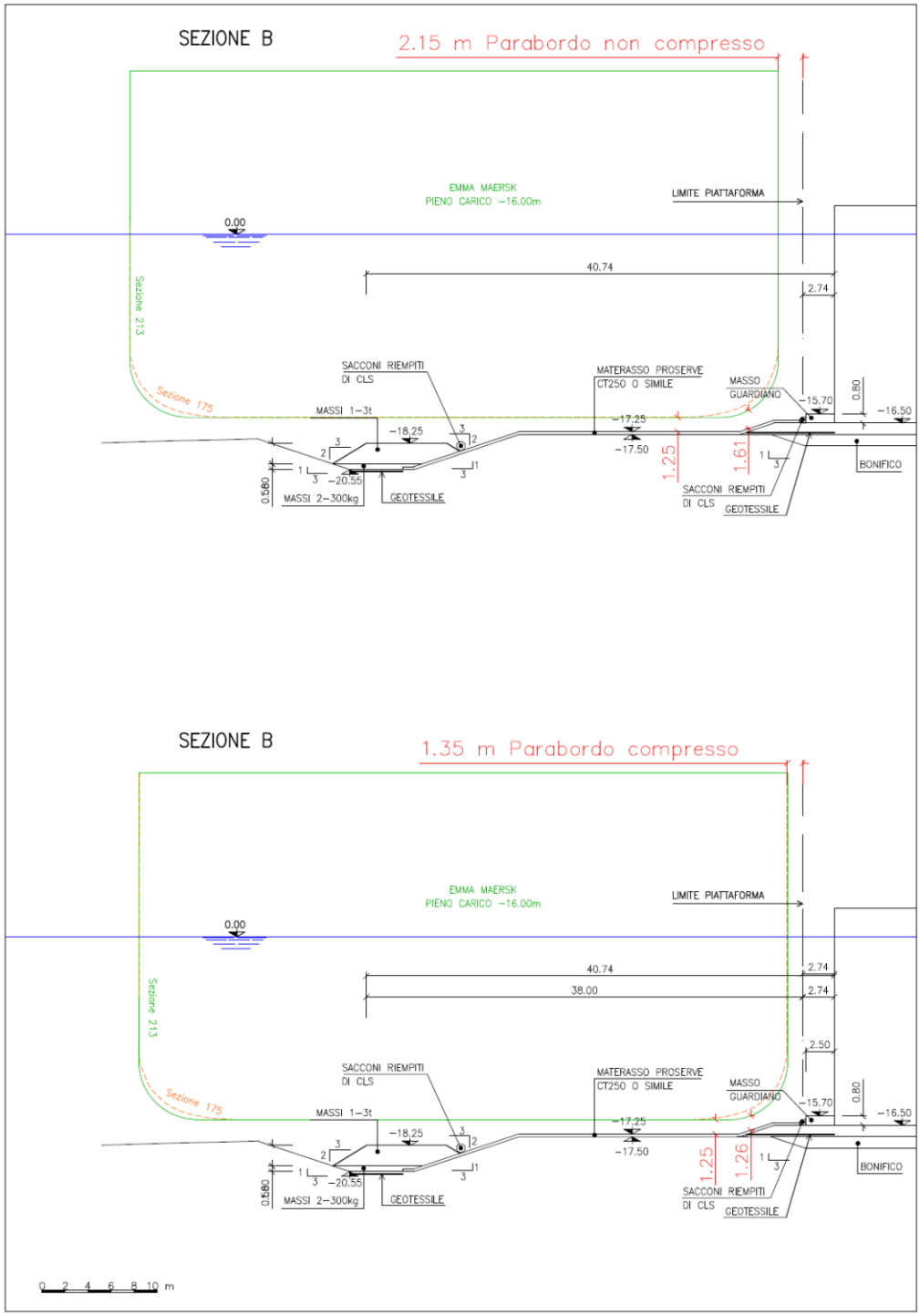


FIG. 5.5 - ACCOSTO B , TRATTO SEZIONE TIPO B – SEZIONE CRITICA DELLA NAVE EMMA MAERSK A PIENO CARICO (PESCAGGIO -16,00 M) : FRANCO DI SICUREZZA SOTTOCHIGLIA.

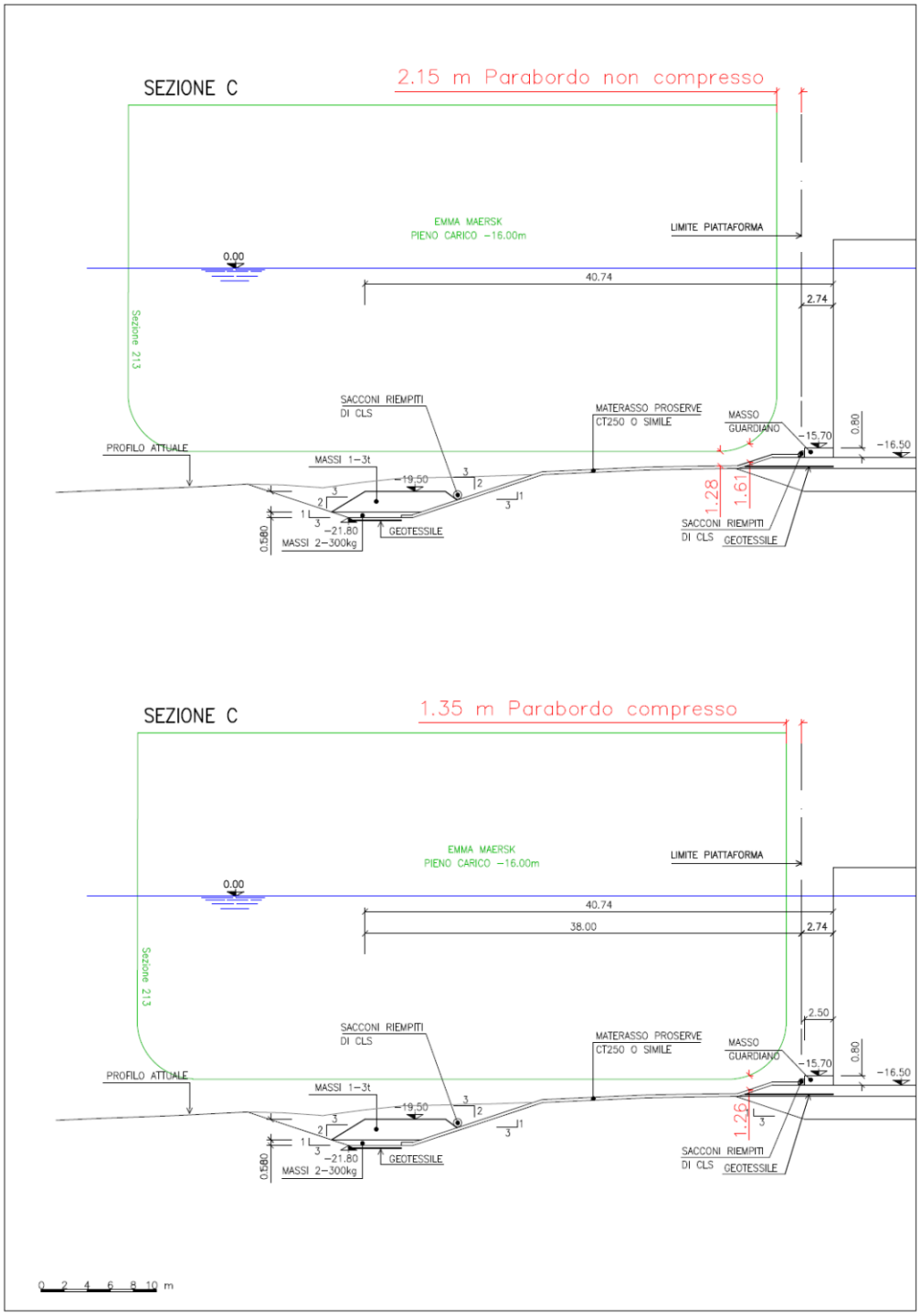


FIG. 5.6 - ACCOSTO B, TRATTO SEZIONE TIPO C - SEZIONE CRITICA DELLA NAVE EMMA MAERSK A PIENO CARICO (PESCAGGIO -16,00 M): FRANCO DI SICUREZZA SOTTOCHIGLIA.

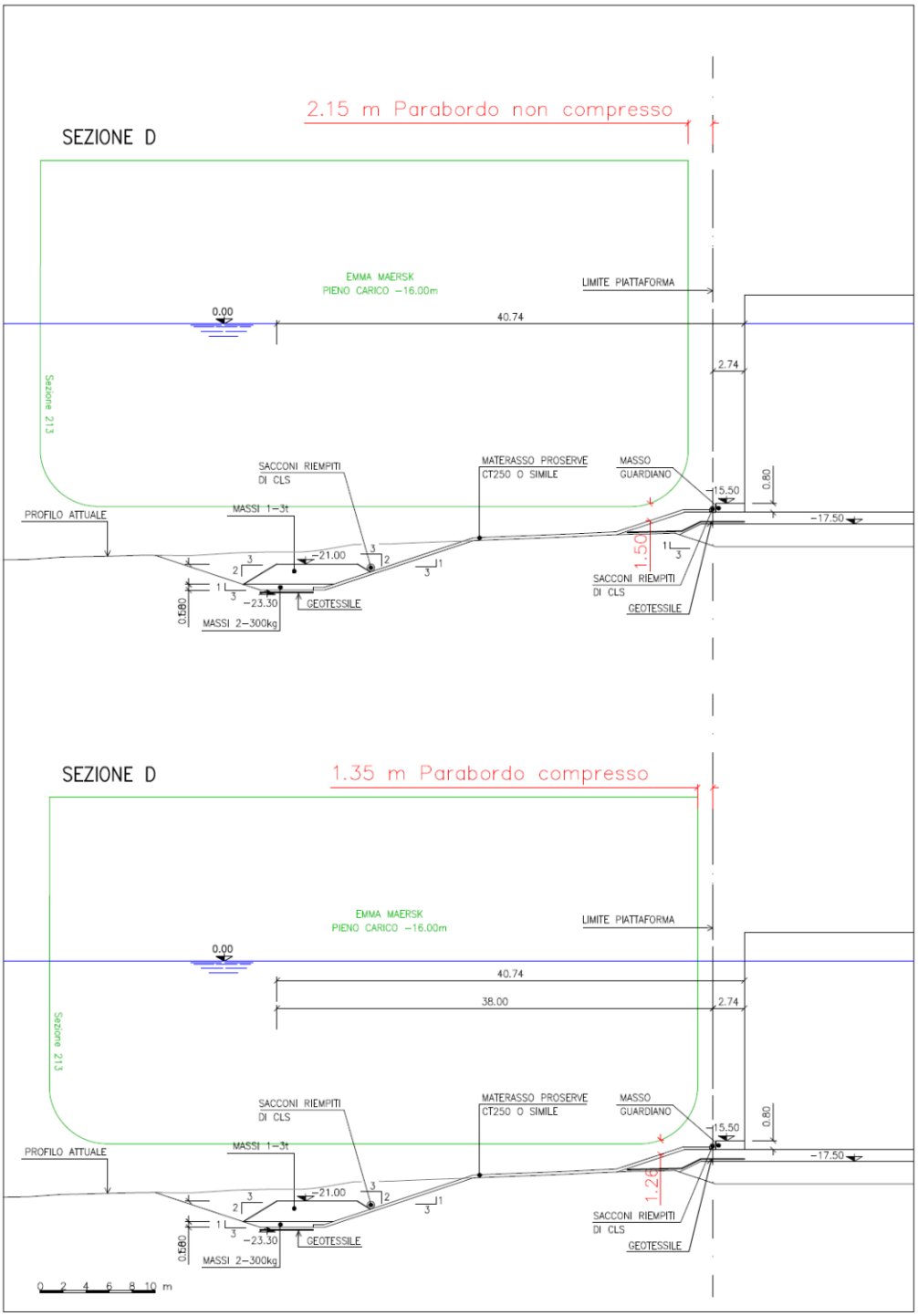


FIG. 5.7 - ACCOSTO B, TRATTO SEZIONE TIPO D - SEZIONE CRITICA DELLA NAVE EMMA MAERSK A PIENO CARICO (PESCAGGIO -16,00 M): FRANCO DI SICUREZZA SOTTOCHIGLIA.

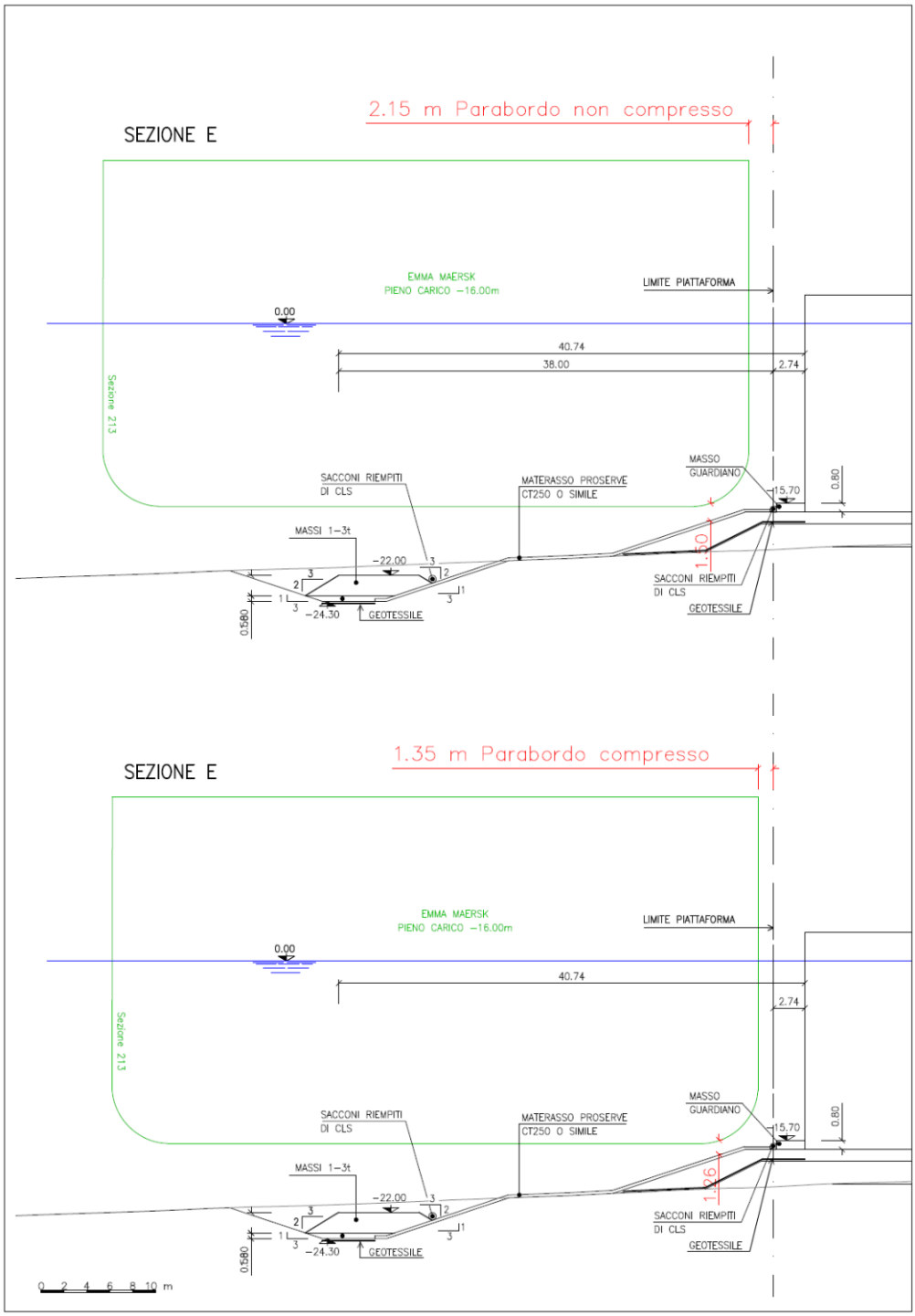


FIG. 5.8 - ACCOSTO B, TRATTO SEZIONE TIPO E - SEZIONE CRITICA DELLA NAVE EMMA MAERSK A PIENO CARICO (PESCAGGIO -16,00 M): FRANCO DI SICUREZZA SOTTOCHIGLIA.

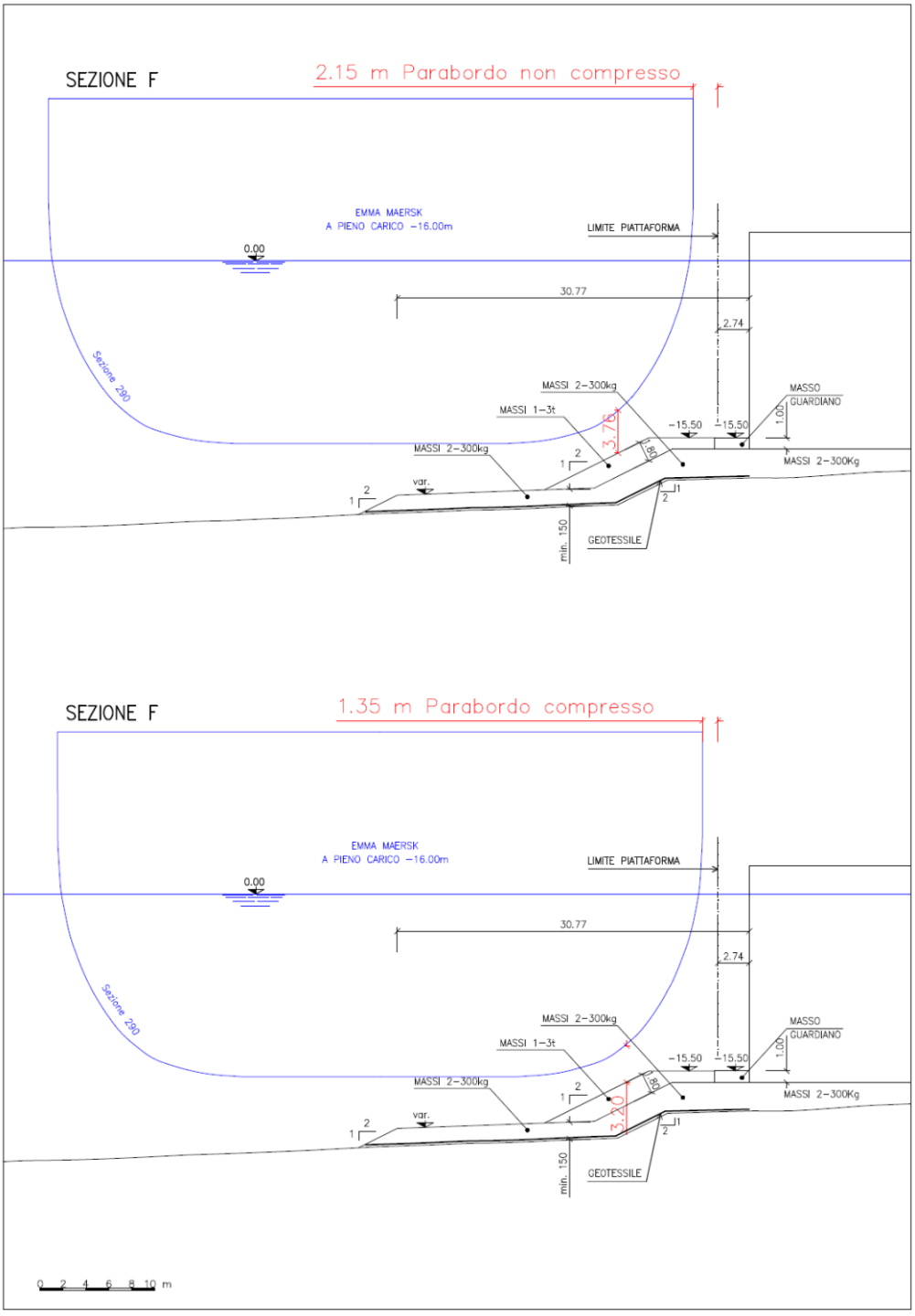


FIG. 5.9 - ACCOSTO B, TRATTO SEZIONE TIPO F – SEZIONE CRITICA DELLA NAVE EMMA MAERSK A PIENO CARICO (PESCAGGIO -16,00 M): FRANCO DI SICUREZZA SOTTOCHIGLIA.

5.6.2. Accosto C - Rinfuse

Dai risultati delle analisi sugli spostamenti delle navi rinfuse di progetto all'ormeggio risulta che per la sicurezza e l'operatività in banchina è necessario garantire sotto ogni punto della carena della nave un franco totale minimo, inclusivo dell'abbassamento quasi statico del livello medio del mare per effetto delle maree, di:

- 1,85 m → nave Jo Jin Maru o Mini Cape allibate (pescaggio massimo di 13,5 m) e in condizioni meteomarine definite limite per l'operatività
- 0,65 m → nave Jo Jin Maru o Mini Cape a pieno carico (pescaggio 14,6-14,5 m rispettivamente) in condizione di mare calmo.

Nelle figure seguenti sono presentate le sezioni trasversali più critiche della carena della nave Jo Jin Maru ai fini della verifica dell'adeguatezza dei fondali in banchina. Nelle stesse figure sono evidenziati i franchi di sicurezza sottochiglia disponibili; in proposito si fa notare che, anche considerando i parabordi compressi, in tutte le sezioni viene rispettato il franco minimo di sicurezza.

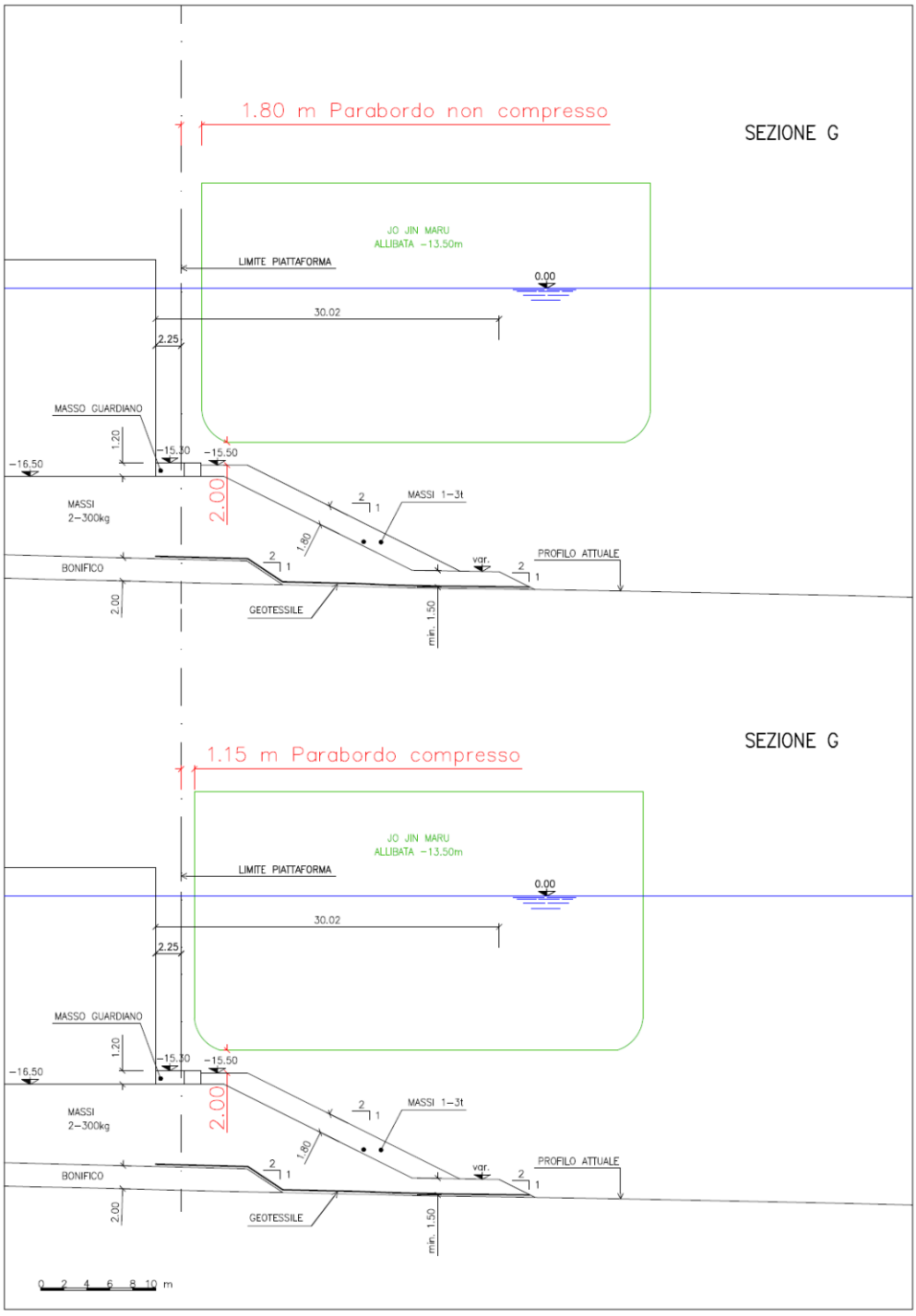


FIG. 5.10 - ACCOSTO C, TRATTO SEZIONE TIPO G – SEZIONE CRITICA DELLA NAVE JO JIN MARU ALLIBATA (PESCAGGIO -13,50 M): FRANCO DI SICUREZZA SOTTOCHIGLIA.

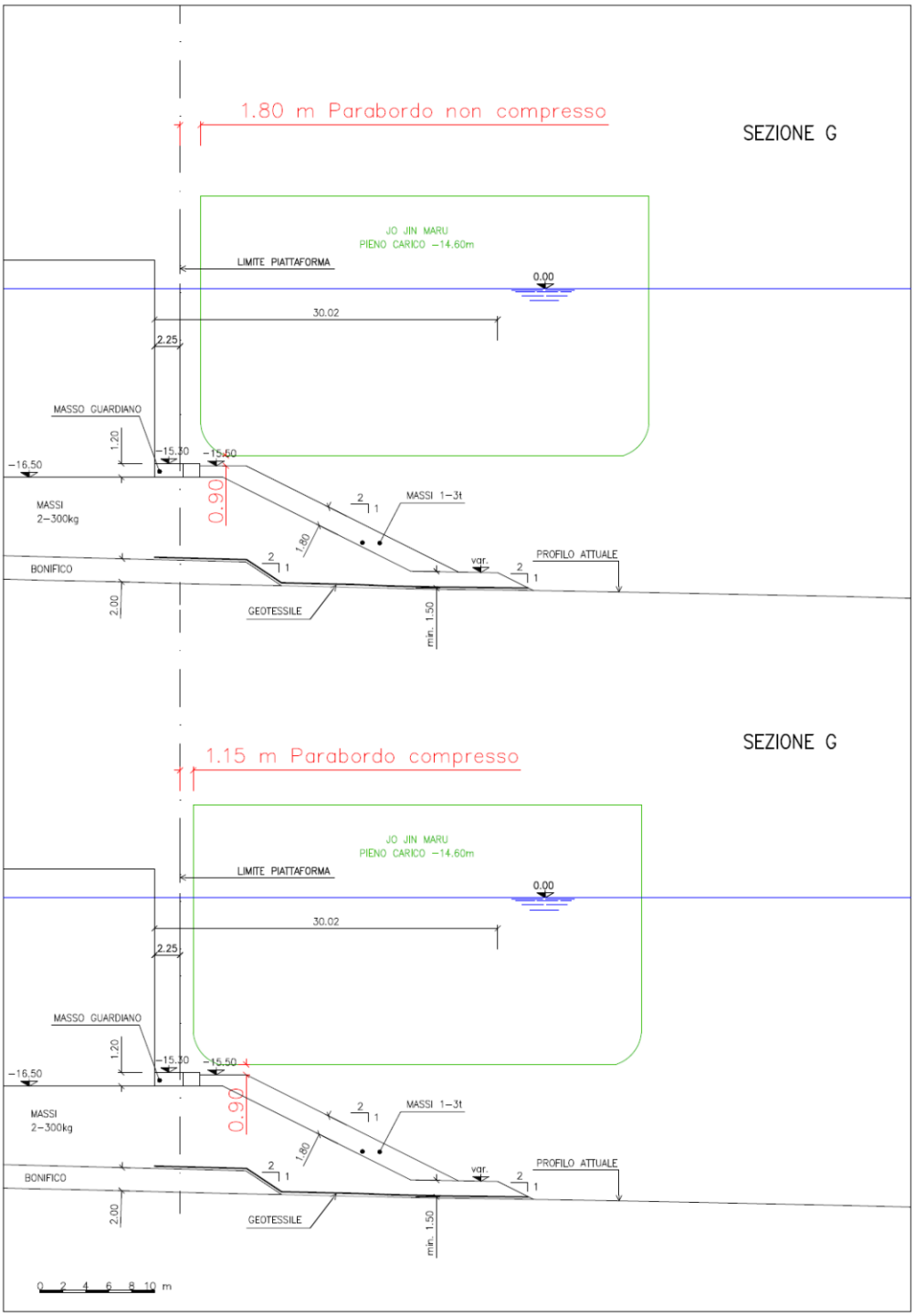


FIG. 5.11 - ACCOSTO C, TRATTO SEZIONE TIPO G – SEZIONE CRITICA DELLA NAVE JO JIN MARU A PIENO CARICO (PESCAGGIO -14,60 M): FRANCO DI SICUREZZA SOTTOCHIGLIA.

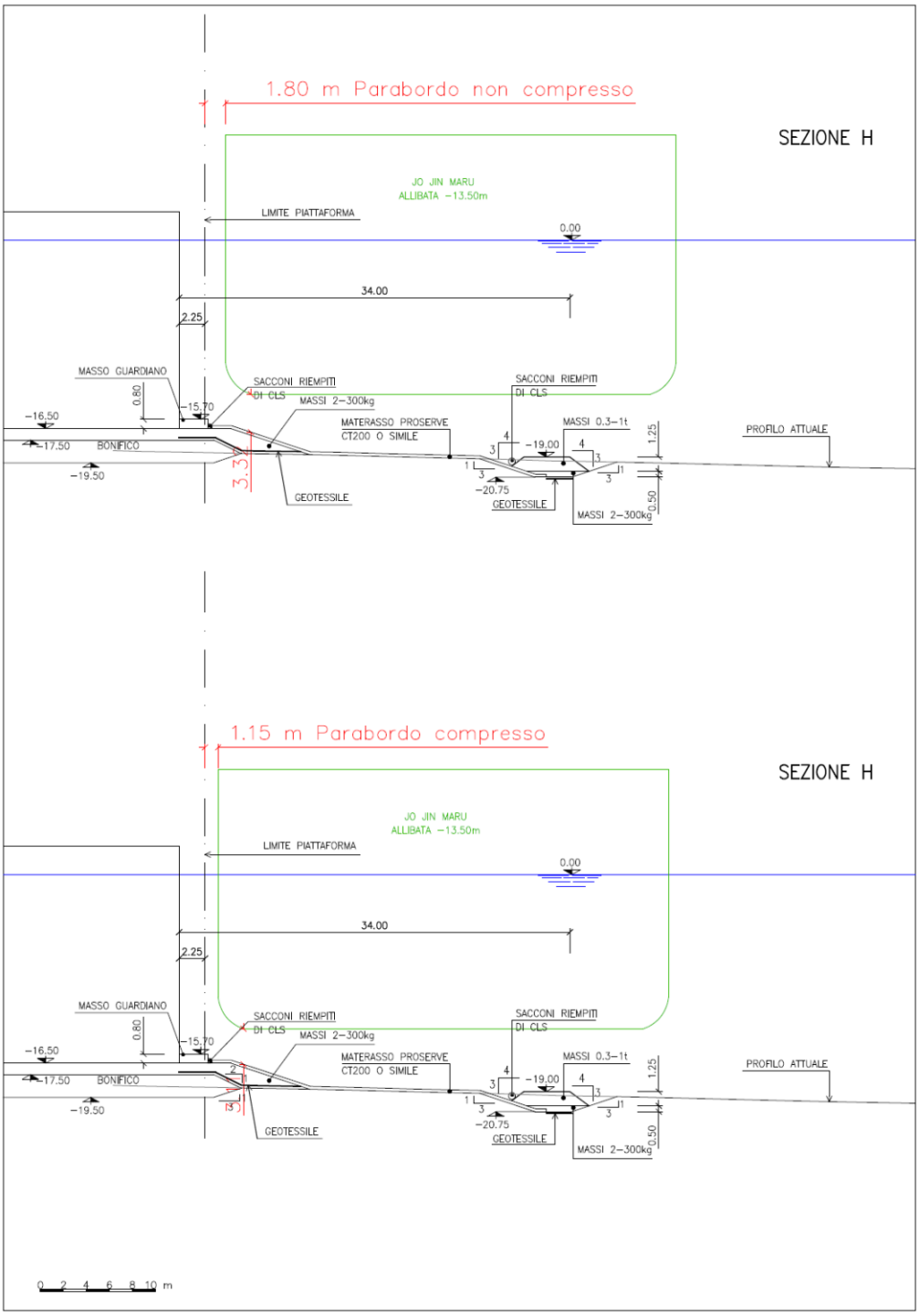


FIG. 5.12 - ACCOSTO C, TRATTO SEZIONE TIPO H – SEZIONE CRITICA DELLA NAVE JO JIN MARU ALLIBATA (PESCAGGIO -13,50 M): FRANCO DI SICUREZZA SOTTOCHIGLIA.

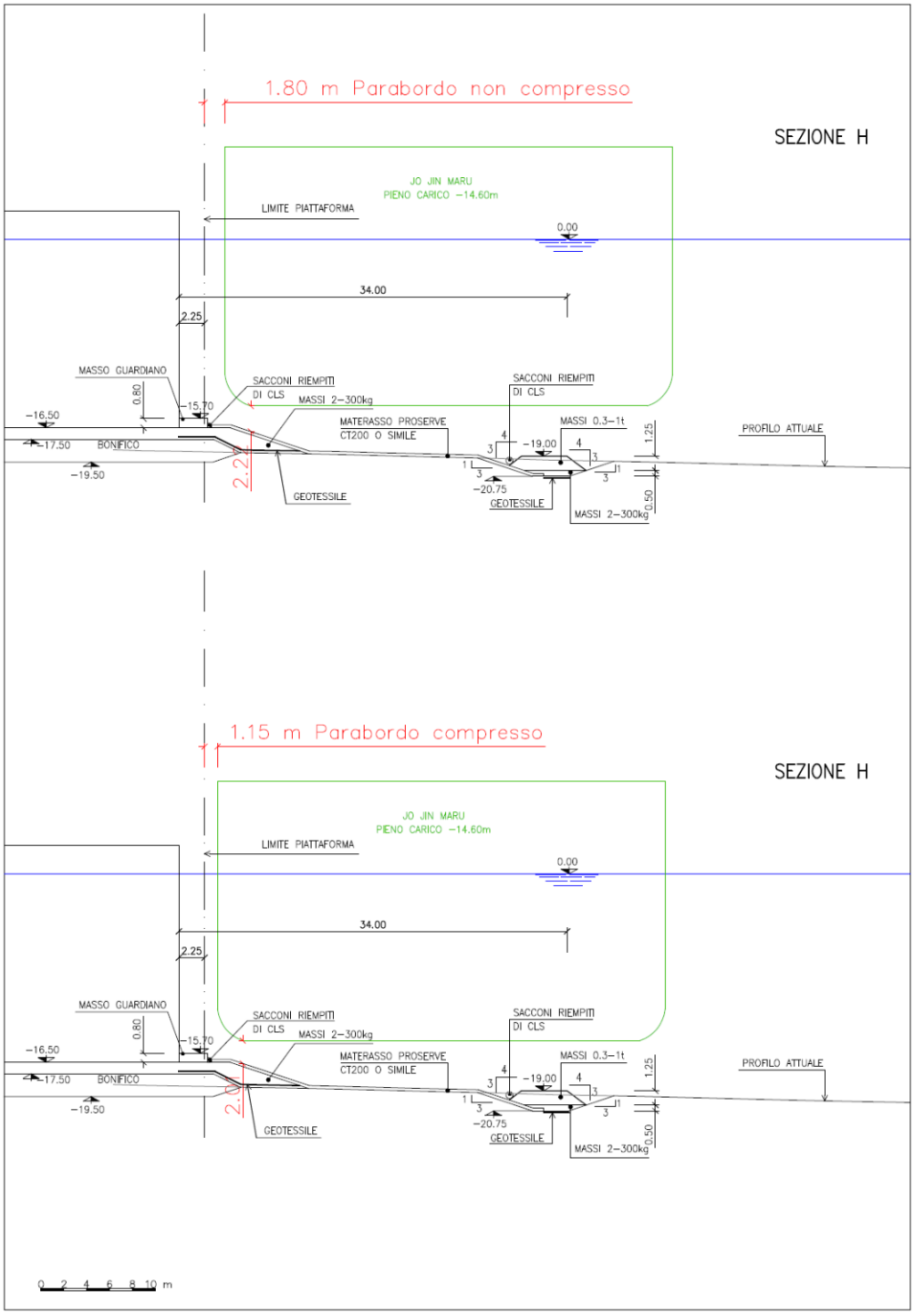


FIG. 5.13 - ACCOSTO C, TRATTO SEZIONE TIPO H – SEZIONE CRITICA DELLA NAVE JO JIN MARU A PIENO CARICO (PESCAGGIO -14,60 M): FRANCO DI SICUREZZA SOTTOCHIGLIA.

5.6.3. Accosto D - Petroli

Dai risultati delle analisi sugli spostamenti della nave petroli di progetto all'ormeggio risulta che per la sicurezza e l'operatività in banchina è necessario garantire sotto ogni punto della carena della nave un franco totale, inclusivo dell'abbassamento quasi statico del livello medio del mare per effetto delle maree, di 0,85 m per la nave Ottomana a pieno carico (pescaggio 9,96 m).

Nella figura seguente è presentata la sezione trasversale più critica della carena della nave ai fini della verifica dell'adeguatezza dei fondali in banchina. Nella stessa figura sono evidenziati i franchi di sicurezza sottochiglia disponibili; in proposito si fa notare che, anche considerando i parabordi compressi, in tutte le sezioni viene rispettato il franco minimo di sicurezza.

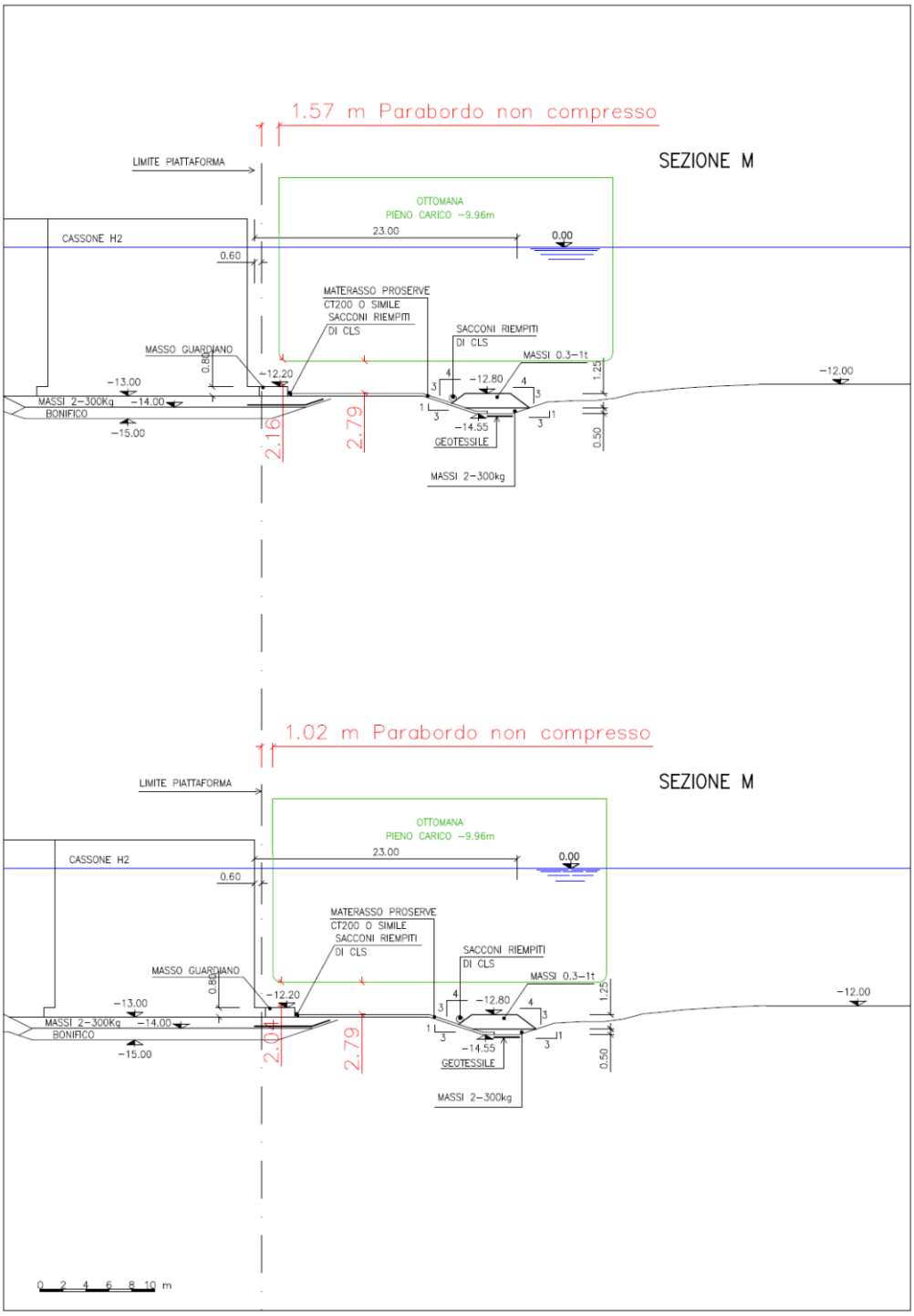


FIG. 5.14 - ACCOSTO D, TRATTO SEZIONE TIPO M – SEZIONE CRITICA DELLA NAVE OTTOMANA A PIENO CARICO (PESCAGGIO -9,96 M): FRANCO DI SICUREZZA SOTTOCHIGLIA.