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

GLF GRANDI LAVORI FINCOSIT

PROGETTAZIONE:

TECHNITAL S.p.A.

IL RESPONSABILE:

Dott. Ing. Guido Fiorini

PROGETTO ESECUTIVO - FASE 2
E CONTESTUALE PERIZIA DI VARIANTE DELLA FASE 1

ELABORATO N° :

TITOLO ELABORATO

PROTEZIONE DEI FONDALI
RELAZIONE DI CALCOLO

MI010P-PE-G-L-R-4124-C0

DATA			
Settembre 2014	ELABORATO	CONTROLLATO	APPROVATO
SIGLA	A. MONARCHA	A. LIZZADRO	G. FIORINI
REVISIONE 1			
REVISIONE 2			
REVISIONE 3			

NOME FILE

MI010P-PE-G-L-R-4124-C0
Protezione fondali
Relazione di calcolo.doc

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

PROGETTO ESECUTIVO - FASE 2 E CONTESTUALE PERIZIA DI VARIANTE DELLA FASE 1

PROTEZIONE DEI FONDALI RELAZIONE DI CALCOLO

INDICE

1. PREMESSE 12
2. NORMATIVE E PUBBLICAZIONI DI RIFERIMENTO 13
3. NAVI E LAYOUT PORTUALE DI PROGETTO 15
4. RISULTATI DELLO STUDIO DI MANOVRE DI NAVIGAZIONE IN TEMPO REALE 24
   4.1. Introduzione 24
   4.2. Obiettivi dello studio 26
   4.3. Condizioni meteomarine considerate durante le manovre 27
   4.4. Elenco ed esiti delle manovre eseguite 28
   4.5. Analisi delle simulazioni a supporto della definizione delle aree di dragaggio per la navigazione 30
   4.6. Analisi delle simulazioni a supporto del dimensionamento della protezione dei fondali 33
      4.6.1. Simulazioni di maggiore interesse ai fini del dimensionamento della protezione dei fondali 33
      4.6.2. Modalità di utilizzo dei propulsori delle navi per le manovre di maggiore interesse per la protezione dei fondali 35
      4.6.3. Dati di riferimento per la progettazione 46
5. CRITERI DI PROGETTO 49
   5.1. Modalità di utilizzo dei propulsori delle navi per le manovre in prossimità delle banchine 49
      5.1.1. Linee guida internazionali 50
      5.1.2. Risultati delle simulazioni di manovra delle navi in tempo reale 51
      5.1.3. Conclusioni 52
   5.2. Periodo di ritorno dell'onda di progetto 55
   5.3. Larghezza della protezione dei fondali antistanti le banchine 58
   5.4. Dimensionamento della protezione in massi naturali 59
      5.4.1. Verifica delle mantellate e degli strati del filtro 59
      5.4.2. Spessori delle mantellate e degli strati filtro 60
      5.4.3. Dimensionamento del geotessile 60
   5.5. Dimensionamento del materasso in calcestruzzo 61
      5.5.1. Verifica della stabilità del materasso 61
      5.5.2. Spessore minimo dei materassi 62
      5.5.3. Permeabilità e porosità del materasso 62
   5.6. Peso specifico dei materiali da costruzione 63

6. DESCRIZIONE DELLA SOLUZIONE PER LA PROTEZIONE DEI FONDALI 64
6.1. Dragaggi 64
6.2. Protezione dei fondali 67
6.2.1. Protezione dei fondali antistanti le banchine 67
6.2.2. Protezione dei fondali dei varchi tra i cassoni sotto l'impalcato 76
7. CARICHI DI PROGETTO 81
7.1. Azione del moto ondoso 81
7.1.1. Parametri caratteristici delle onde e azioni indotte davanti alle banchine 81
7.1.2. Parametri caratteristici delle onde sotto la piattaforma 84
7.2. Azioni indotte dalle eliche principali e dei propulsori trasversali di prua e di poppa 88
7.2.1. Riferimenti per il calcolo dei carichi idrodinamici indotti dalle eliche principali 88
7.2.2. Riferimenti per il calcolo dei carichi idrodinamici indotti dai propulsori trasversali di prua e di poppa 95
7.2.3. Carichi di progetto indotti dalle eliche principali 97
7.2.4. Carichi di progetto indotti dalle eliche trasversali 104
8. DIMENSIONAMENTO DELLA PROTEZIONE DEI FONDALI 106
8.1. Riferimenti per il dimensionamento dei materassi riempiti di calcestruzzo 106
8.1.1. Materassi soggetti ai carichi idrodinamici indotti dalle eliche 106
8.1.2. Materassi soggetti ai carichi idrodinamici indotti dalle onde 107
8.2. Riferimenti per il dimensionamento dei massi naturali 108
8.2.1. Massi naturali soggetti ai carichi idrodinamici indotti dalle eliche 108
8.2.2. Massi naturali soggetti ai carichi idrodinamici indotti dalle onde 109
8.3. Riferimenti per il dimensionamento dei massi guardiani al piede dei cassoni 112
8.4. Protezione fondali davanti alla Banchina Container 114
8.4.1. Tipologia e larghezza della protezione 114
8.4.2. Dimensionamento materasso in cls 116
8.4.3. Dimensionamento del materasso a protezione della scarpata del dragaggio 119
8.4.4. Dimensionamento berma di fissaggio dei materassi 120
8.4.5. Dimensionamento protezione in massi naturali 121
8.4.6. Verifica degli strati filtro 123
8.4.7. Dimensionamento dei massi guardiani 125
8.5. Protezione fondali davanti alla Banchina Rinfuse 127
8.5.1. Tipologia e larghezza della protezione 127
8.5.2. Dimensionamento materasso in cls 129

8.5.3. Dimensionamento berma di fissaggio dei materassi 131
8.5.4. Dimensionamento protezione in massi naturali 132
8.5.5. Verifica degli strati filtro 133
8.5.6. Dimensionamento dei massi guardiani 135
8.6. Protezione fondali davanti alla Banchina Petroli 137
8.6.1. Tipologia e larghezza della protezione 137
8.6.2. Dimensionamento materasso in cls 138
8.6.3. Dimensionamento berma di fissaggio dei materassi 141
8.6.4. Verifica degli strati filtro 142
8.6.5. Dimensionamento dei massi guardiani 143
8.7. Protezione fondali sotto la piattaforma 145
8.7.1. Risultati del modello fisico in canaletta 145
8.7.2. Aree perimetrali 152
8.7.3. Aree interne 156

INDICE DELLE FIGURE

Fig. 3.1 - Schema planimetrico del nuovo Terminale 15
Fig. 3.2 - Planimetria dei fondali di progetto nell'area portuale 17
Fig. 4.1 - Configurazione delle opere con figa foranea come da PRP 24
Fig. 4.2 - Configurazione delle opere con diga foranea di prima fase 25
Fig. 4.3 - Inviluppo della rotta tenuta dalla portacontainer Emma Maersk in accosto presso la banchina A - Simulazione M02 31
Fig. 4.4 - Manovra di accosto per la nave rinfuse - M23 32
Fig. 4.5 - Manovra di disormeggio per la nave rinfuse - M24 32
Fig. 4.6 - Parametri caratteristici per la manovra di disormeggio della Emma Maersk in banchina A - Simulazione M07 36
Fig. 4.7 - Parametri caratteristici per la manovra di disormeggio della Emma Maersk in banchina A - Simulazione M15_BIS 37
Fig. 4.8 - Parametri caratteristici per la manovra di disormeggio della Emma Maersk in banchina A - Simulazione M20 38
Fig. 4.9 - Parametri caratteristici per la manovra di ormeggio della Emma Maersk in banchina A - Simulazione M02_bis 39
Fig. 4.10 - Parametri caratteristici per la manovra di ormeggio della Emma Maersk in banchina A - Simulazione M06 40
Fig. 4.11 - Parametri caratteristici per la manovra di disormeggio della Emma Maersk in banchina B - Simulazione M05 41
Fig. 4.12 - Parametri caratteristici per la manovra di disormeggio della Emma Maersk in banchina B - Simulazione M21 42
Fig. 4.13 - Parametri caratteristici per la manovra di ormeggio Mini Cape in banchina C - Simulazione M27 43
Fig. 4.14 - Parametri caratteristici per la manovra di Disormeggio della Mini Cape in banchina C - Simulazione M27_U 44
Fig. 6.1 - Aree di dragaggio 66
Fig. 6.2 - Planimetria della protezione dei fondali antistanti le banchine 68
Fig. 6.3 - Protezione dei fondali in materassi di cls nel tratto di banchina container - sezione tipo 69
Fig. 6.4 - Particolare del fissaggio del materasso contro il masso guardiano per mezzo di saccone in cls 70
Fig. 6.5 - Particolare dell'ancoraggio del materasso lato mare per mezzo di massi naturali e saccone in cls 71
Fig. 6.6 - Protezione dei fondali in massi naturali nel tratto di banchina container - sezione tipo 72
Fig. 6.7 - Protezione dei fondali in scogli nel tratto di banchina rinfuse - sezione tipo 73

Fig. 6.8 - Protezione dei fondali in materassi in cls nel tratto di banchina rinfuse - sezione tipo 74
Fig. 6.9 - Protezione dei fondali in materassi in cls nel tratto di banchina petroli - sezione tipo 75
Fig. 6.10 - Planimetria della protezione dei fondali sotto la piattaforma 77
Fig. 6.11 - Protezione dei fondali sotto la piattaforma vicino alla banchina container - sezione tipo 79
Fig. 6.12 - Protezione dei fondali sotto la piattaforma vicino alla banchina petroli - sezione tipo 79
Fig. 6.13 - protezione sotto la piattaforma dove i fondali sono costituiti da pietrame 20-100 mm- sezione tipo 80
Fig. 7.1 - tratti di banchina cui si è fatto riferimento per la valutazione delle onde di progetto 82
Fig. 7.2 - Propagazione dell'onda nell'area delle nuove opere - onda al largo con provenienza 80°N e Tr=250 anni: Hs=4,1 m , Tp=9,8 s 85
Fig. 7.3 - Distribuzione delle altezze d'onda sotto la piattaforma in funzione delle quote e del materiale d'imbasamento dei cassoni 86
Fig. 7.4 - Schema del getto dell'elica principale 89
Fig. 7.5 - Schematizzazione dell'elica come disco continuo 89
Fig. 7.6 - Velocità massima sul fondale U_{max}/U_0 in funzione di H_p/D_p (Bulletin no. 109 (2002) of PIANC. 92
Fig. 7.7 - Distribuzione spaziale delle velocità del flusso di un'elica non intubata 93
Fig. 7.8 - Sottospinta sul materasso dovuta alla suzione prodotta nelle vicinanze dell'elica 94
Fig. 7.9 - Vista dei carichi dovuti all'elica sul fondale. Test eseguiti presso i laboratori di Marin 95
Fig. 7.10 - Massima suzione in funzione della spinta esercitata dall'elica (fondale orizzontale) 95
Fig. 7.11 - Schema del getto prodotto da un'elica trasversale 96
Fig. 8.1 - Dimensionamento dello spessore del materasso in funzione della velocità della corrente agente sul fondo (Pilarczyk, 2000) 107
Fig. 8.2 - Dimensione del masso di protezione (D50) in funzione della velocità sul fondo Ub,max (PIANC WG22, 1997) 109
Fig. 8.3 - Schema di una tipica protezione in massi e massi guardiani al piede di un'opera a parete verticale (Coastal Engineering Manual, 2011) 110
Fig. 8.4 - Definizione delle dimensioni dei massi guardiani (Takahashi, 1996) 113
Fig. 8.5 - Banchina container - Protezione tratto in materassi/berma in massi e tratto in massi naturali 115
Fig. 8.6 - Disposizione planimetrica dei massi guardiani - banchina container 127

Fig. 8.7- Banchina Rinfuse - protezione con tratto in materassi/berma in massi e tratto in massi naturali 129
Fig. 8.8 - Disposizione planimetrica dei massi guardiani - Banchina rinfuse 136
Fig. 8.9 - Banchina Petroli - Protezione dei fondali in materassi con berma di fissaggio in massi naturali 138
Fig. 8.10 - Disposizione planimetrica dei massi guardiani - Banchina petroli 144
Fig. 8.11 - Planimetria dell'impalcato con l'ubicazione delle due sezioni longitudinali testate nel modello fisico 146
Fig. 8.12 - Sezioni longitudinali dell'impalcato 146
Fig. 8.13 - Sezione longitudinale della struttura e planimetria con indicazione della collocazione delle sonde 148
Fig. 8.14 - Trasformazione dell'onda sopra la struttura (senza impalcato) - Test A_0-04, $H_{s,opera}$ = 5.0 m 148
Fig. 8.15 - Analisi di stabilità della roccia di fondazione: Confronto tra la condizione inalterata prima del test (in alto sinistra) e il danno differenziale in seguito all'applicazione dell'onda. SEZ. A-A 150
Fig. 8.16 - Analisi di stabilità della roccia di fondazione: Confronto tra la condizione inalterata prima del test (in alto sinistra) e il danno differenziale in seguito all'applicazione dell'onda. SEZ. B-B 151

INDICE DELLE TABELLE

Tab. 3.1 -	Banchina portacontenitori - Banchina A	19
Tab. 3.2 -	Banchina portacontenitori - Banchina B	20
Tab. 3.3 -	Banchina rinfuse - Banchina C	21
Tab. 3.4 -	Banchina tanker - Banchina D	22
Tab. 3.5 -	Caratteristiche dei propulsori delle navi di progetto	23
Tab. 4.1 -	Condizioni meteomarine considerate nelle simulazioni di manovra in tempo reale	27
Tab. 4.2 -	Simulazioni di supporto alla definizione delle modalità di utilizzo dei propulsori durante le manovre in prossimità delle banchine	34
Tab. 4.3 -	modalità di utilizzo dei propulsori durante le manovre	35
Tab. 4.4 -	Potenze e giri del motore dell'elica principale riscontrate dalle simulazioni	48
Tab. 5.1 -	Potenze caratteristiche e rispettivi giri del motore - PIANC WG22	51
Tab. 5.2 -	Potenze e giri del motore dell'elica principale riscontrate dalle simulazioni	52
Tab. 5.3 -	Numero di giri e potenza del motore dell'elica principale per il dimensionamento della protezione	53
Tab. 5.4 -	Numero di giri e potenza del motore delle eliche trasversali per il dimensionamento della protezione	54
Tab. 5.5 -	Durata minima di vita per opere o strutture di carattere definitivo T_v	55
Tab. 5.6 -	Massima probabilità di danneggiamento ammissibile nel periodo di vita operativa dell'opera P_f	57
Tab. 5.7 -	Periodi di ritorno dell'onda di progetto	58
Tab. 5.8 -	Criterio per la definizione del geotessile	61
Tab. 5.9 -	Criterio per la definizione diametro Ø dei fori del materasso	62
Tab. 7.1 -	onde di progetto incidenti la piattaforma, Tr=250 anni	81
Tab. 7.2 -	Coefficienti di riflessione per le banchine di progetto	83
Tab. 7.3 -	Valori di progetto delle velocità orbitali sul fondo indotte dal moto ondoso nella zona antistante le banchine	84
Tab. 7.4 -	Onde di progetto per le aree perimetrali sotto la piattaforma -Tr=250 anni	87
Tab. 7.5 -	Onde di progetto per le aree interne sotto la piattaforma - Tr=250 anni	87
Tab. 7.6 -	Valori di k_t (J=0) utilizzati per il calcolo di U_0	97
Tab. 7.7 -	Suzione indotta dalle eliche principali delle navi di progetto sui materassi antistanti le banchine	99

Tab. 7.8 - Velocità delle correnti indotte dalle eliche principali delle navi di progetto sui materassi antistanti le banchine 100
Tab. 7.9 - Velocità delle correnti indotte dalle eliche principali sulle protezioni in massi naturali 101
Tab. 7.10 - Velocità delle correnti indotte dalle eliche principali sul materasso e massi naturali sulla scarpata dei dragaggi dietro la banchina container 102
Tab. 7.11 - Velocità indotte dalle eliche principali delle navi di progetto sul fondale nei varchi tra i cassoni 103
Tab. 7.12 - Velocità della corrente indotte dalle eliche trasversali sui fondali antistanti le banchine 104
Tab. 7.13 - Velocità di progetto indotte dalle eliche trasversali sulla protezione del fondale nei varchi tra i cassoni della prima fila 105
Tab. 8.1 - Modalità di calcolo del diametro minimo in funzione del tipo di protezione 109
Tab. 8.2 - Larghezza della protezione dei fondali - Banchina container 115
Tab. 8.3 - Spessore materasso per effetto della suzione indotta dall'elica principale (Hawkswood et al., 2014) - Banchina container 116
Tab. 8.4 - Spessore materasso per effetto velocità della corrente indotta dall'elica principale (Pilarczyk, 2000) - Banchina Container 117
Tab. 8.5 - Spessore materasso per effetto della velocità della corrente indotta dalle eliche trasversali (Pilarczyk, 2000) - Banchina container 117
Tab. 8.6 - Spessore dei materassi adottati - Banchina container 118
Tab. 8.7 - Dimensionamento del diametro massimo dei fori sul materasso in cls 118
Tab. 8.8 - Spessore materasso per effetto della velocità della corrente indotta dalle eliche principali (Pilarczyk, 2000) - Scaprata dragaggio radice banchina container 119
Tab. 8.9 - Dimensionamento dei massi per le berme di ancoraggio dei materassi - BAnchina container 120
Tab. 8.10 - Dimensionamento dei massi per le berme di ancoraggio dei materassi - scarpate del dragaggio in radice della banchina container 121
Tab. 8.11 - Dimensionamento dei massi per la protezione delle scarpate del rilevato d'imbasamento dei cassoni - azione eliche trasversali 122
Tab. 8.12 - Dimensionamento dei massi per la protezione delle scarpate del rilevato d'imbasamento dei cassoni - azione onde 123
Tab. 8.13- Verifica dello strato filtro -banchina container 124
Tab. 8.14 - Caratteristiche minime per i geotessili di progetto 125
Tab. 8.15 - Dimensionamento dei massi guardiani - Banchina container 125
Tab. 8.16 - Massi guardiani - Dimensionamento area fori 126

Tab. 8.17 - Larghezza della protezione dei fondali - Banchina rinfuse 128
Tab. 8.18 - Spessore materasso per effetto delle onde di progetto (Pilarczyk, 2000) - Banchina rinfuse 130
Tab. 8.19 - Dimensionamento dei massi per le berme di ancoraggio dei materassi - Banchina rinfuse 131
Tab. 8.20 - Dimensionamento dei massi per la protezione delle scarpate del rilevato d'imbasamento dei cassoni per azione elica principale - Banchina rinfuse 132
Tab. 8.21 - Dimensionamento dei massi per la protezione delle scarpate del rilevato d'imbasamento dei cassoni - azione onde 133
Tab. 8.22 - Verifica dello strato filtro - Banchina rinfuse 134
Tab. 8.23 - Dimensionamento dei massi guardiani - Banchina rinfuse 135
Tab. 8.24 - massi guardiani - Dimensionamento area fori 135
Tab. 8.25 - Larghezza della protezione dei fondali - Banchina petroli 137
Tab. 8.26 - Spessore materasso per effetto della suzione indotta dall'elica principale (Hawkswood et al., 2014) - Banchina petroli 139
Tab. 8.27 - Spessore materasso per effetto velocità della corrente indotta dall'elica principale (Pilarczyk, 2000) - Banchina petroli 139
Tab. 8.28 - Spessore materasso per effetto della velocità della corrente indotta dalle eliche trasversali (Pilarczyk, 2000) - Banchina petroli 140
Tab. 8.29 - Spessore del materasso adottato nel progetto - Banchina Petroli 140
Tab. 8.30 - Dimensionamento dei massi per le berme di ancoraggio dei materassi - BAnchina petroli 142
Tab. 8.31 - Verifica dello strato filtro - Banchina Petroli 143
Tab. 8.32 - Dimensionamento dei massi guardiani - Banchina petroli 144
Tab. 8.33 - Programma dei test eseguiti - Sez. A-A e Sez. B-B 147
Tab. 8.34 - Risultati dei test sulla stabilità dei fondali - sez. A-A 149
Tab. 8.35 - Risultati dei test sulla stabilità dei fondali - sez. B-B 149
Tab. 8.36 - Dimensionamento protezione del fondale all'azione delle onde - aree sotto la piattaforma perimetrali 153
Tab. 8.37 - Velocità di progetto indotte dalle eliche trasversali sulla protezione al piede e diametro minimo richiesto per la stabilità 154
Tab. 8.38 - Dimensionamento protezione del fondale all'azione delle onde e delle eliche - aree sotto la piattaforma perimetrali 154
Tab. 8.39 - Spessore materasso per effetto velocità della corrente indotta dall'elica principale e trasversale (Pilarczyk, 2000) - Aree perimetrali sotto la piattaforma 156
Tab. 8.40 - Verifica al moto ondoso del materiale d'imbasamento dei cassoni nelle aree interne alla piattaforma 157

1. PREMESSE

La protezione del fondale nasce dalla necessità di evitare l'erosione del fondale per effetto delle sollecitazioni provocate dalle correnti indotte dalle eliche delle navi e dal moto ondoso sui fondali antistanti le banchine e tra i varchi compresi tra i cassoni sommersi al di sotto dell'impalcato.

L'esecuzione di uno studio delle modalità di manovra delle navi di progetto in avvicinamento e partenza dalle banchine, anche in situazioni meteomarine non favorevoli, è stata di supporto alla valutazione delle sollecitazioni idrodinamiche indotte dalle eliche delle navi di progetto. 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.

L'analisi dell'azione delle onde sui fondali antistanti le banchine e sui fondali dei varchi tra i cassoni è stata condotta tramite un modello fisico (in canaletta) presso il laboratorio idraulico HR WALLINGFORD. Il modello fisico si è occupato anche di valutare i carichi indotti dalle onde sulle strutture della piattaforma. Il rapporto conclusivo redatto da HR Wallingford è allegato al presente progetto esecutivo.

La necessità di limitare i volumi di dragaggio e pertanto realizzare una protezione dei fondali di ridotto spessore e nel contempo di far fronte alle elevate sollecitazioni idrodinamiche indotte dalle eliche delle navi ha indirizzato la soluzione verso una tipologia in materasso riempito di calcestruzzo (spessore 15-25 cm).

Nelle zone meno sollecitate dall'azione delle eliche, o dove non si presentava la necessità di contenere gli spessori della protezione, si è optato per la tradizionale protezione in massi naturali.

2. NORMATIVE E PUBBLICAZIONI DI RIFERIMENTO

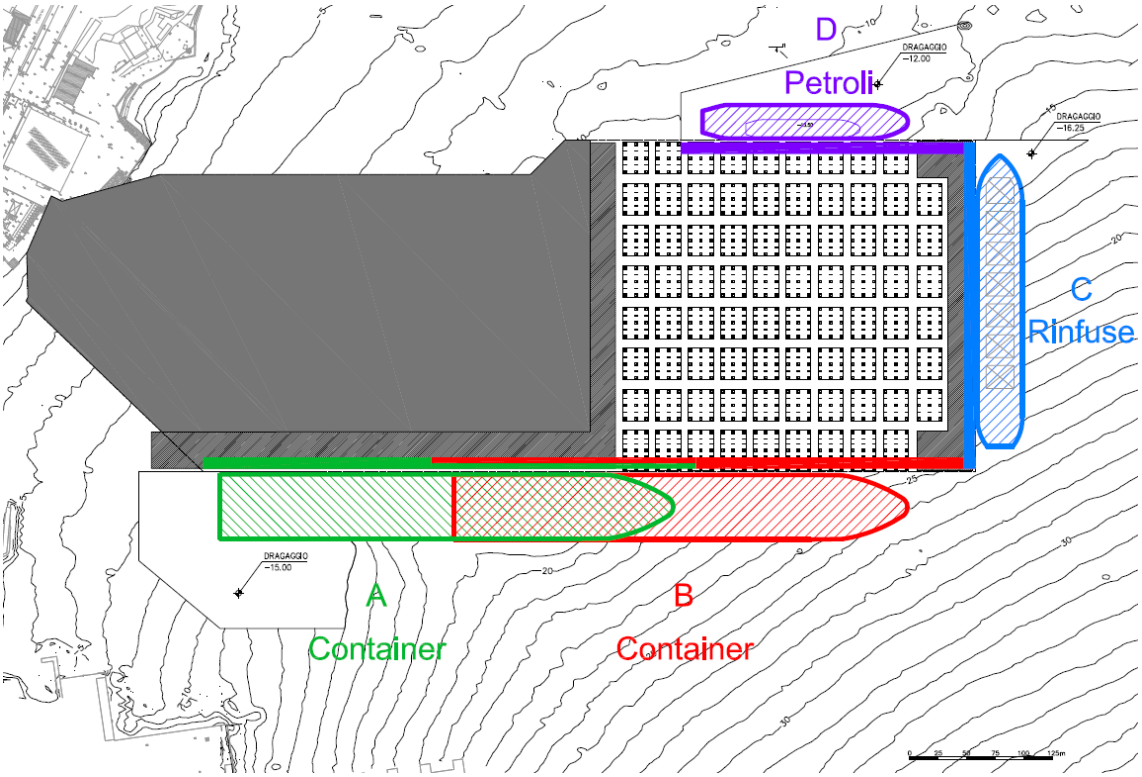
La progettazione della protezione dei fondali è stata fatta in conformità alle raccomandazioni contenute nelle seguenti normative e pubblicazioni di riferimento, se non specificato diversamente:

- BS 6349-1:2000. "Maritime structures - Part 1: Code of practice for general criteria". British Standards Institution, London;
- C.S.LL.PP., CNR-GNDCI (1996). "Istruzioni tecniche per la progettazione delle dighe marittime". Pubbl. GNDCI n.1450;
- BSI 6349: part 3 - 1988 - "Maritime structures - Part. 1 -Code of practice for general criteria", issued by the British Standard Institution;
- PIANC WG 22, (1997) - Guidelines for the design of armoured slopes under open piled quay walls;
- PIANC Bulletin No 109, 2002;
- CIRIA, CUR, CETMEF (2007). "The Rock Manual. The use of rock in Hydraulic Engineering (second edition)". C683, CIRIA;
- "Recommendations of the Committee for Waterfront Structures: Harbours and Waterways (EAU 2004), 8th Edition";
- ROM 0.2-90. "Actions in the design of maritime and harbour works". Maritime Works Recommendations, Puertos del Estado, Madrid;
- ROM 0.2-2000 - "General procedure and requirements in the design of harbour and maritime structures", Maritime works recommendations issued by Puertos del estado, Spain;
- US Army Corps of Engineers (2006). "Coastal Engineering Manual". Engineer Manual 1110-2-1100, Part VI - Chapter 5: Fundamentals of Design;
- US Army Corps of Engineering "Shore Protection Manual", 1984;
- Bulletin 88 (BAW) Principles for the Design of Bank and Bottom Protection for Inland Waterways, 2005;
- McConnell, HR Wallingford,1998 - Revetment Systems against Wave Attack - A Design Manual;
- Hawkswood et al. Geoafrica, 2013 - Concrete Mattress Used For Berth Scour Protection;

- Hawkswood et al. ICE Breakwaters 2013-Berth Scour Protection For Fast Ferries;
- Hawkswood et al, PIANC World Congress 2014 (publication pending)-Berth Scour Protection for Modern Vessels;
- Hawkswood, M.G., Assinder, P., (2013) Concrete mattress used for berth scour protection, GhIGS GeoAfrica 2013, Accra, Ghana;
- Concrete mattress flexural testing, TR4, Proserve testing September, 2011;
- S.Takahashi - Breakwater Design - Chapter 10 in Handbook of Port and habour Enginering by Tsinker , 1997;
- Wellicome J.F. (1981) Bottom Suction Loads due to Propeller Scour Action and Ship Move-ments, www.proserveltd.co.uk, Report to Pros-erve Ltd;
- Pilarczyk, K.W. (2000). Geosynthetics and Geo-systems in Hydraulic and Coastal Engineering - Taylor and Francis, New York, USA.

3. NAVI E LAYOUT PORTUALE DI PROGETTO

In Fig. 3.1 è presentato lo schema funzionale delle banchine lungo la nuova piastra multifunzionale con riferimento alle diverse tipologie di traffico.



Denominazione	Banchina	Profondità aree di manovra (m)
A	Container	-15,00
B	Container	-17,25
C	Rinfuse	-16,25
D	Petroli	-12,00

FIG. 3.1 - SCHEMA PLANIMETRICO DEL NUOVO TERMINALE

In sede di Progetto Preliminare, la banchina destinata al traffico contenitori, 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.
Più recenti indirizzi commerciali hanno evidenziato la necessità di operare sia sul tratto B che sul tratto A con navi di classe E (Ultra Panamax Container Ship), tipo la Emma Maersk. La Emma Maersk - da fonte Lloyd's Register of Ships aggiornato al marzo 2014- ha una capacità di carico di 15.550 TEU ca. (portata in DWT pari a 158.200 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 (almeno 425 m) e maggiori fondali all'ormeggio o condizioni di allibo restrittive. Già nel Progetto Definitivo si era fatto riferimento a navi container di classe E e nel presente Progetto Esecutivo viene rispettato quanto previsto nel Definitivo.

Il fondale antistante il tratto B della banchina portacontenitori garantisce un franco sottochiglia di almeno 1.25 m anche in relazione alle navi di classe E a pieno carico, pertanto non sono richieste condizioni di allibo restrittive. Volendo operare con navi di classe E anche sul tratto A della banchina portacontenitori, dove è previsto un dragaggio alla -15 m sl.m.m., considerato che il pescaggio massimo delle navi di classe E è pari a 16 m e che il franco sottochiglia, viste le condizioni di esposizione dell'accosto e conformemente a quanto richiesto dal terminalista, non debba cautelativamente risultare inferiore ad almeno 1.25 m, si valuta 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 76% di quella massima. In termini di TEU, la riduzione è di circa 3.732 unità.

Dal punto di vista dell'estensione planimetrica del dragaggio in radice, le recenti simulazioni di manovre di navigazione in tempo reale, eseguite di recente (luglio 2014) per conto dell'Autorità Portuale di Savona presso i laboratori del CETENA S.p.A. (sintetizzate nel capitolo 4), hanno consentito di definire in modo preciso l'area di dragaggio, al fine di permettere l'ormeggio e il disormeggio in sicurezza della nave Emma Maersk. La nuova configurazione dei fondali nell'area portuale è quella rappresentata nella Fig. 3.2 e riportata in dettaglio nei disegni di progetto.

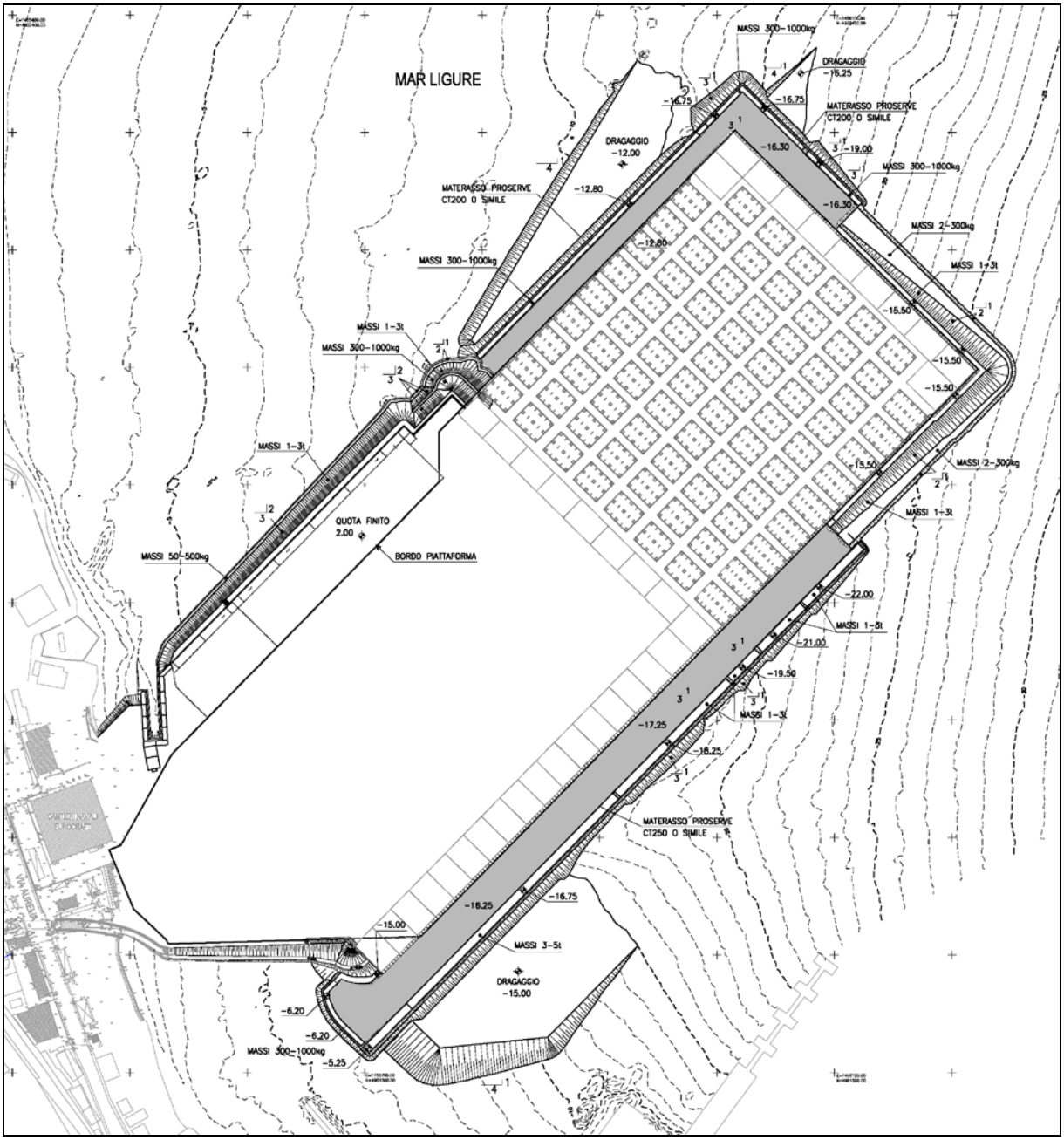


FIG. 3.2 - PLANIMETRIA DEI FONDALI DI PROGETTO NELL'AREA PORTUALE

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 C, considerato che il franco sottochiglia, viste le condizioni di esposizione dell'accosto e conformemente a quanto richiesto dal terminalista, non debba cautelativamente risultare inferiore ad almeno 1,65 m, si valuta una condizione di pescaggio di entrambe le navi di progetto all'arrivo in banchina 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 condizioni di calma a pieno carico.

Come per il caso della banchina A, anche per la definizione dell'estensione del dragaggio in corrispondenza della banchina C, si è fatto riferimento ai risultati delle simulazioni di manovra di ormeggio e disormeggio in tempo reale fate presso il CETENA S.p.A. Le prove hanno confermato l'adeguatezza dell'area di dragaggio ottimizzata durante il presente Progetto Esecutivo mediante numerosi incontri con Capitaneria di Porto e Piloti del Porto di Savona. Questa area di dragaggio è illustrata in Fig. 3.2 e presentata in dettaglio nei disegni di progetto.

Infine, per quanto concerne la Banchina D, i fondali disponibili garantiscono il franco sottochiglia richiesto (1.25 m) in relazione alla tanker di maggiori dimensioni a pieno carico (nave 'Ottomana' attualmente in esercizio), pertanto non sono richieste condizioni di allibo restrittive.

A seguire sono dunque riepilogati, per ciascun tratto, 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 (giugno 2014).

TAB. 3.1 - 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 = 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	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. 3.2 - 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. 3.3 - BANCHINA RINFUSE - BANCHINA C

Bulk Carrier n. 1 - Mini Cape		
Fondale disponibile	≥ 16,25 m	
Caratteristiche nave di progetto a pieno carico		
Loa = 255 m Lbp = 248 m B = 43,0 m T = 14,5 m Depth = 20,2 m	Δ = 134.904 t DWT = 114.563 t TPC = 103,6 Cb = 0,85 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*

Bulk Carrier n. 2 - Jo Jin Maru		
Fondale disponibile	≥ 16,25 m	
Caratteristiche nave di progetto a pieno carico		
Loa = 240 m Lbp = 236 m B = 38,0 m T = 14,6 m Depth = 20,0 m	Δ = 116.500 t DWT = 98.697 t TPC = 14,4 Cb = 0,87 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. 3.4 - BANCHINA TANKER - 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%			

TAB. 3.5 - CARATTERISTICHE DEI PROPULSORI DELLE NAVI DI PROGETTO

			Emma Maersk	Mini Cape/Jo Jin Maru	Ottomana
Potenza elica principale	$P_{p,max}$	kW	80.080	16.500/12.500	8.650
Diametro elica principale	D_p	m	9,6	7,0	5,5
Potenza Elica trasversale di prua	$P_{bt,max}$	kW	1.750 x 2	-	800
Diametro elica trasversale di prua	D_{bt}	m	2,4	-	1,88
Potenza Elica trasversale di poppa	$P_{st,max}$	kW	1.750 x 2	-	-
Diametro elica trasversale di poppa	D_{st}	m	2,4	-	-

4. RISULTATI DELLO STUDIO DI MANOVRE DI NAVIGAZIONE IN TEMPO REALE

4.1. Introduzione

Nell'ambito degli studi per la progettazione e la valutazione dell'operatività della nuova piattaforma di Vado Ligure, sono state svolte da parte di CETENA S.p.A. per conto dell'Autorità Portuale di Savona, simulazioni di manovra in tempo reale delle navi di progetto. Le simulazioni delle manovre sono state condotte con 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

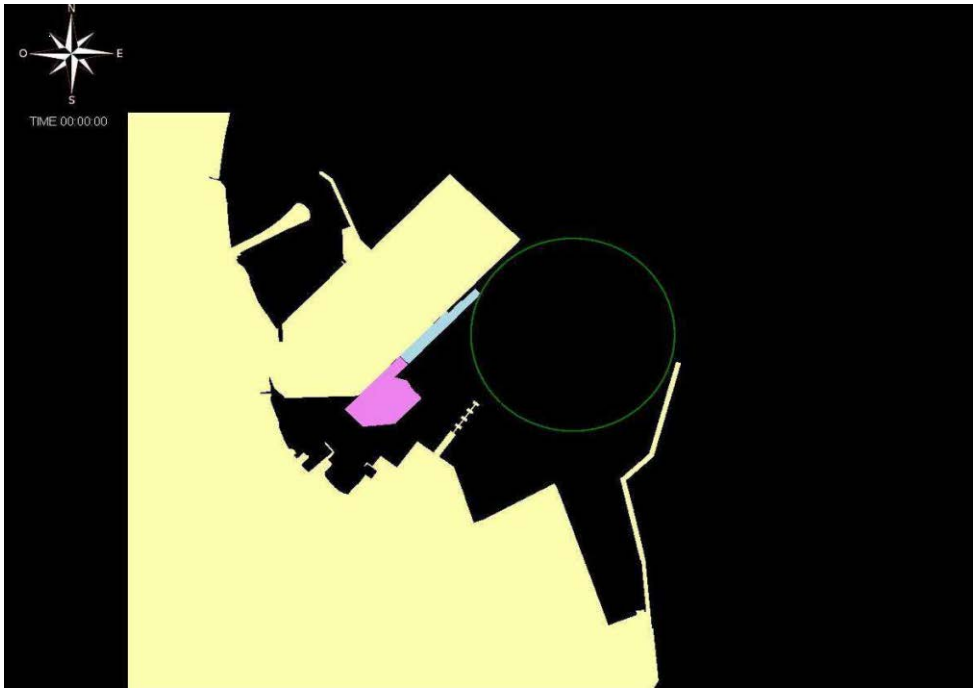


FIG. 4.2 - CONFIGURAZIONE DELLE OPERE CON DIGA FORANEA DI PRIMA FASE

Lo studio, finalizzato principalmente alla definizione delle aree di manovra del nuovo porto, ha permesso al contempo di ottenere informazioni più precise riguardo all'effettivo utilizzo dei propulsori in fase di ormeggio e disormeggio, di supporto per il dimensionamento e l'ottimizzazione della soluzione per la protezione dei fondali.

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 par. 3 , 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 par. 3).

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. Obiettivi dello studio

Di seguito si presentano i principali obiettivi delle simulazioni di manovra in tempo reale:

- la verifica dell'adeguatezza degli spazi a disposizione di ciascuna tipologia di unità navale (anche in termini di dragaggi di progetto) per compiere le manovre portuali nel layout finale, in relazione sia alle condizioni di moto ondoso/vento che agli ingombri eventualmente presenti nell'area di manovra;
- la verifica del numero e della taglia dei rimorchiatori necessari per la manovra in sicurezza di ciascuna nave;
- la verifica delle condizioni di esercizio e lo studio delle tecniche di manovra ottimali per le unità in arrivo e partenza dal nuovo porto;
- lo studio della fattibilità dell'arrivo/partenza in condizioni meteomarine severe, in relazione alla effettiva possibilità di utilizzo dei rimorchiatori di cui si è deciso di tenere conto;
- lo studio delle condizioni meteomarine limite per la fattibilità dell'arrivo/partenza senza ricorrere all'assistenza dei rimorchiatori;
- la valutazione del numero di giri massimo dell'elica principale e dei propulsori trasversali (ed eventuale uso del timone) utilizzato durante le manovre di ormeggio/disormeggio in prossimità della banchina, al fine di definire i criteri di progetto

per il dimensionamento della protezione dei fondali soggetta alle azioni idrodinamiche indotte dai propulsori.

4.3. 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.

4.4. 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	Finale	*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		**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*	1ª Fase	**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		**(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**	**1ª Fase**	**1**	**6.5**	**100**	**20**	**130**	**100**
20	U	Emma	13.75	A	**Riuscita**		**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

4.5. Analisi delle simulazioni a supporto della definizione delle aree di dragaggio per la navigazione

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 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 investe 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.

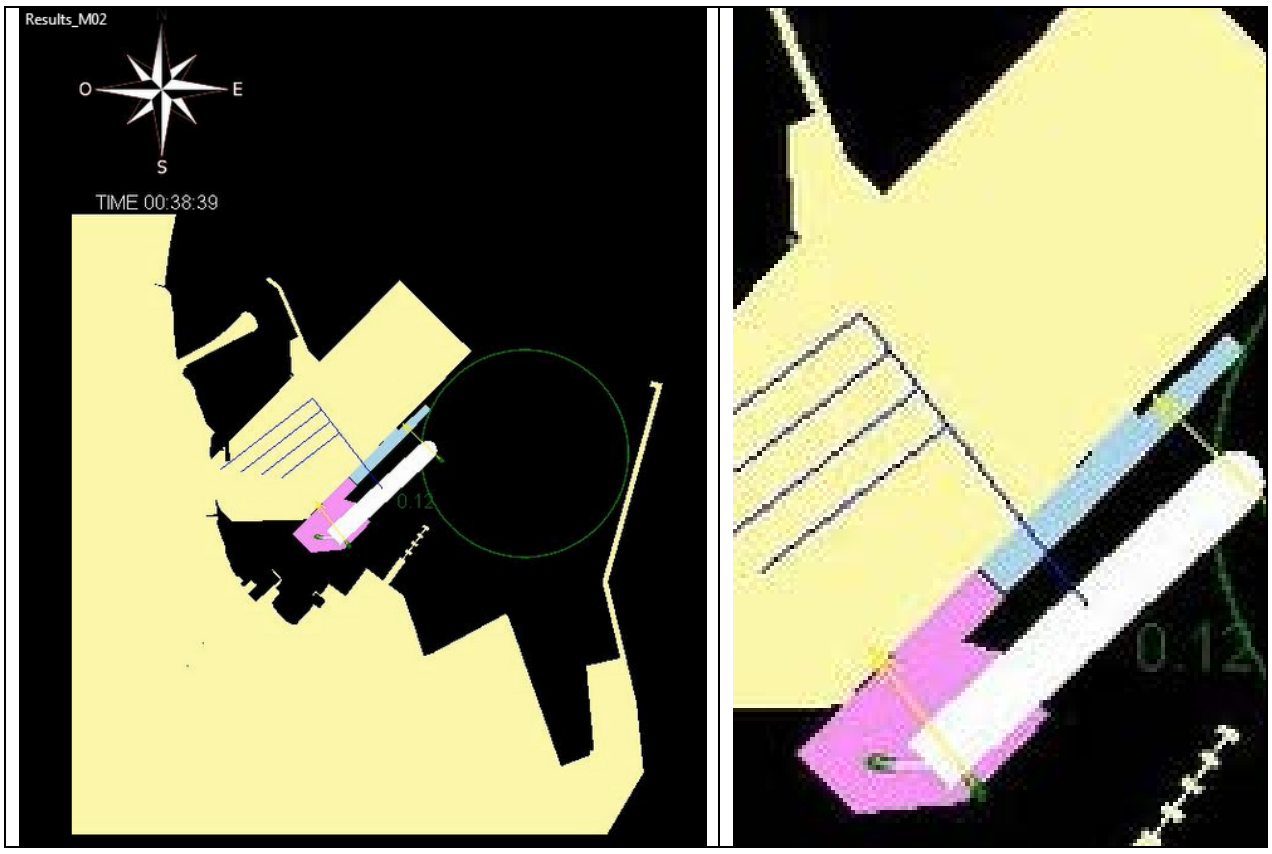


FIG. 4.3 - INVILUPPO DELLA ROTTA TENUTA DALLA PORTACONTAINER EMMA MAERSK IN ACCOSTO PRESSO LA BANCHINA A - SIMULAZIONE M02

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 dra-

gaggio 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.

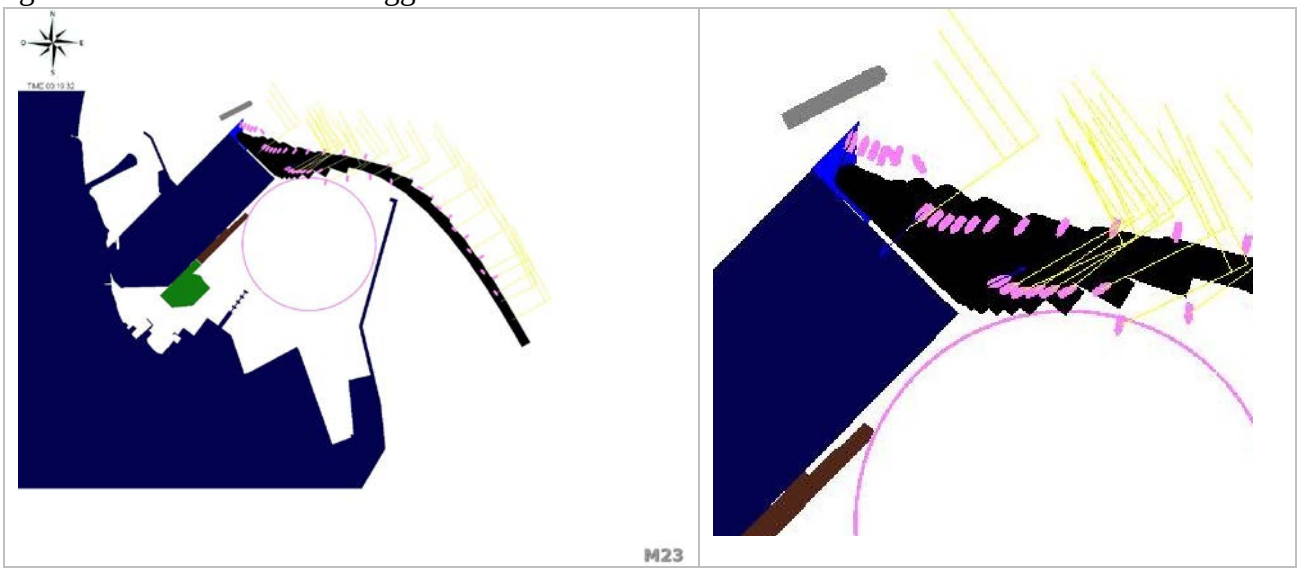


FIG. 4.4 - MANOVRA DI ACCOSTO PER LA NAVE RINFUSE - M23

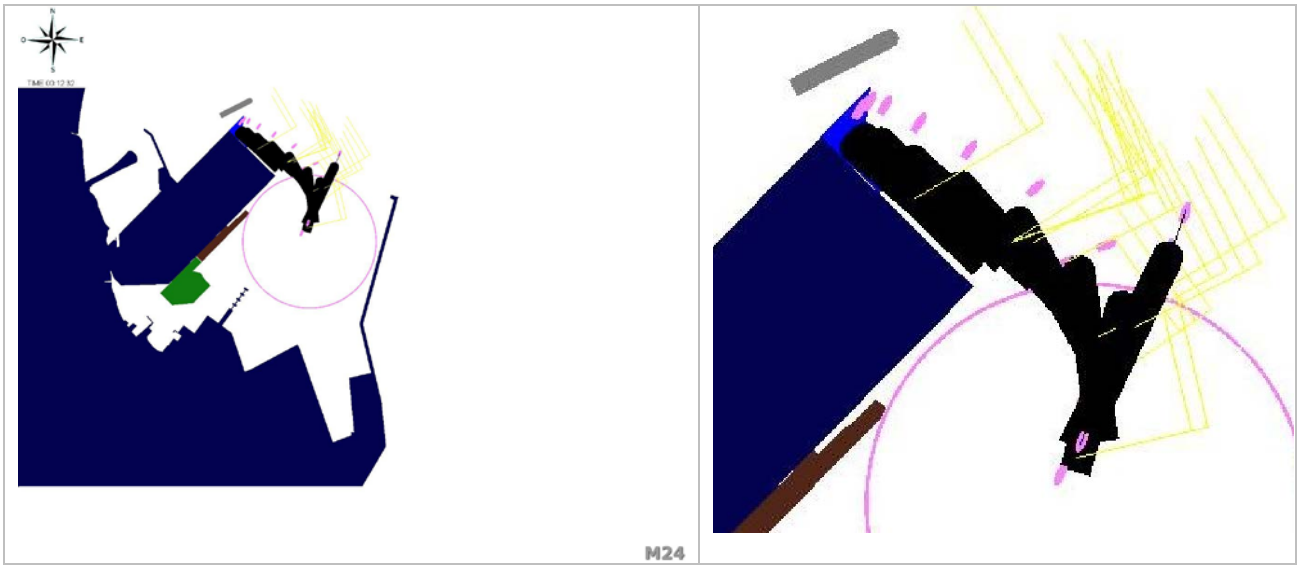


FIG. 4.5 - MANOVRA DI DISORMEGGIO PER LA NAVE RINFUSE - M24

4.6. Analisi delle simulazioni a supporto del dimensionamento della protezione dei fondali

4.6.1. Simulazioni di maggiore interesse ai fini del dimensionamento della protezione dei fondali

Dall'analisi dei risultati delle simulazioni di ormeggio e disormeggio delle navi di progetto è emerso, per quanto riguarda le navi container, che durante le manovre di disormeggio le potenze utilizzate dai propulsori delle navi sono superiori a rispetto a quelle usate durante la manovra di ormeggio, rendendo l'allontanamento dalla banchina la manovra più gravosa ai fini del dimensionamento della protezione del fondale.

Nel caso delle navi rinfuse è stato invece riscontrato un utilizzo con la stessa intensità dei propulsori principali in prossimità della banchina sia durante le fasi di accosto che di disormeggio.

Come già anticipato nei paragrafi precedenti il programma di simulazioni ha permesso di studiare le manovre delle navi di progetto, container e rinfuse, in condizioni metomarine caratteristiche del paraggio di Vado Ligure. Per la banchina container A (quella più radicata a terra) sono state ricercate anche quelle condizioni di vento limite (considerando varie direzioni di provenienza) che consentissero la manovra della nave in sicurezza senza l'utilizzo dei rimorchiatori.

Durante le manovre non assistite infatti le navi utilizzano le proprie dotazioni con intensità maggiore rispetto al caso di manovra assistita, rendendo queste manovre particolarmente significative ai fini della definizione dei criteri di progetto in termini di modalità di utilizzo dei propulsori durante il disormeggio.

Nella tabella seguente è presentato l'elenco delle manovre risultate più gravose dal punto di vista della modalità di utilizzo dei propulsori nei pressi delle banchine.

TAB. 4.2 - SIMULAZIONI DI SUPPORTO ALLA DEFINIZIONE DELLE MODALITÀ DI UTILIZZO DEI PROPULSORI DURANTE LE MANOVRE IN PROSSIMITÀ DELLE BANCHINE

Simul.	Banchina	Nave	Tipo di manovra	Velocità Vento (nodi)	Direzione Vento (°N)	Rimorchiatori (n°)
M07	A	Emma Maersk	disormeggio	20	60	0
M15bis	A	Emma Maersk	disormeggio	15	100	0
M20	A	Emma Maersk	disormeggio	20	320	0
M02bis	A	Emma Maersk	ormeggio	30	320	2
M06	A	Emma Maersk	ormeggio	20	60	3
M05	B	Emma Maersk	disormeggio	30	320	2
M21	B	Emma Maersk	disormeggio	30	320	0
M27	C	Rinfuse	ormeggio	15	320	3
M27_U	C	Rinfuse	disormeggio	30	320	3

4.6.2. Modalità di utilizzo dei propulsori delle navi per le manovre di maggiore interesse per la protezione dei fondali

Nella tabella seguente sono sintetizzate le modalità di utilizzo dei propulsori per le manovre di disormeggio e ormeggio rispettivamente per l'Emma Maersk e la Mini Cape, di interesse ai fini del dimensionamento della protezione dei fondali.

TAB. 4.3 - MODALITÀ DI UTILIZZO DEI PROPULSORI DURANTE LE MANOVRE

Simul.	Ban-china	Tipo di manovra	Vel. Vento (nodi)	Dir Vento (°N)	Rimor-chiatori (n°)	RPM	Potenza elica principale (% P_{max})	Potenza eliche trasvers. (% P_{max})
M07	A	disormeggio	20	60	0	33	8,7%	100%
M15bis	A	disormeggio	15	100	0	35	10,1%	100%
M20	A	disormeggio	20	320	0	35	10,5%	100%
M02bis	A	ormeggio	30	320	2	25	4,4%	100%
M06	A	ormeggio	20	60	3	24	3,8%	100%
M05	B	disormeggio	30	320	2	25	4,3%	100%
M21	B	disormeggio	30	320	0	22	3,3%	100%
M27	C	ormeggio	15	320	3	50	24,5%	-
M27_U	C	disormeggio	30	320	3	50	23,4%	-

Di seguito si riportano, per ognuna delle simulazioni sopra citate, i grafici dei seguenti parametri caratteristici in funzione del tempo:

- la distanza percorsa dalla nave ("Rout" in miglia)
- Il numero di giri al minuto dell'elica principale - RPM (n°) e
- La potenza utilizzata dall'elica principale - P (kW)
- La percentuale di potenza utilizzata dall'elica trasversale di prua (% bow,thruster) e dell'elica trasversale di poppa (% stern,thruster)
- L'angolo del timone - Angle (°).

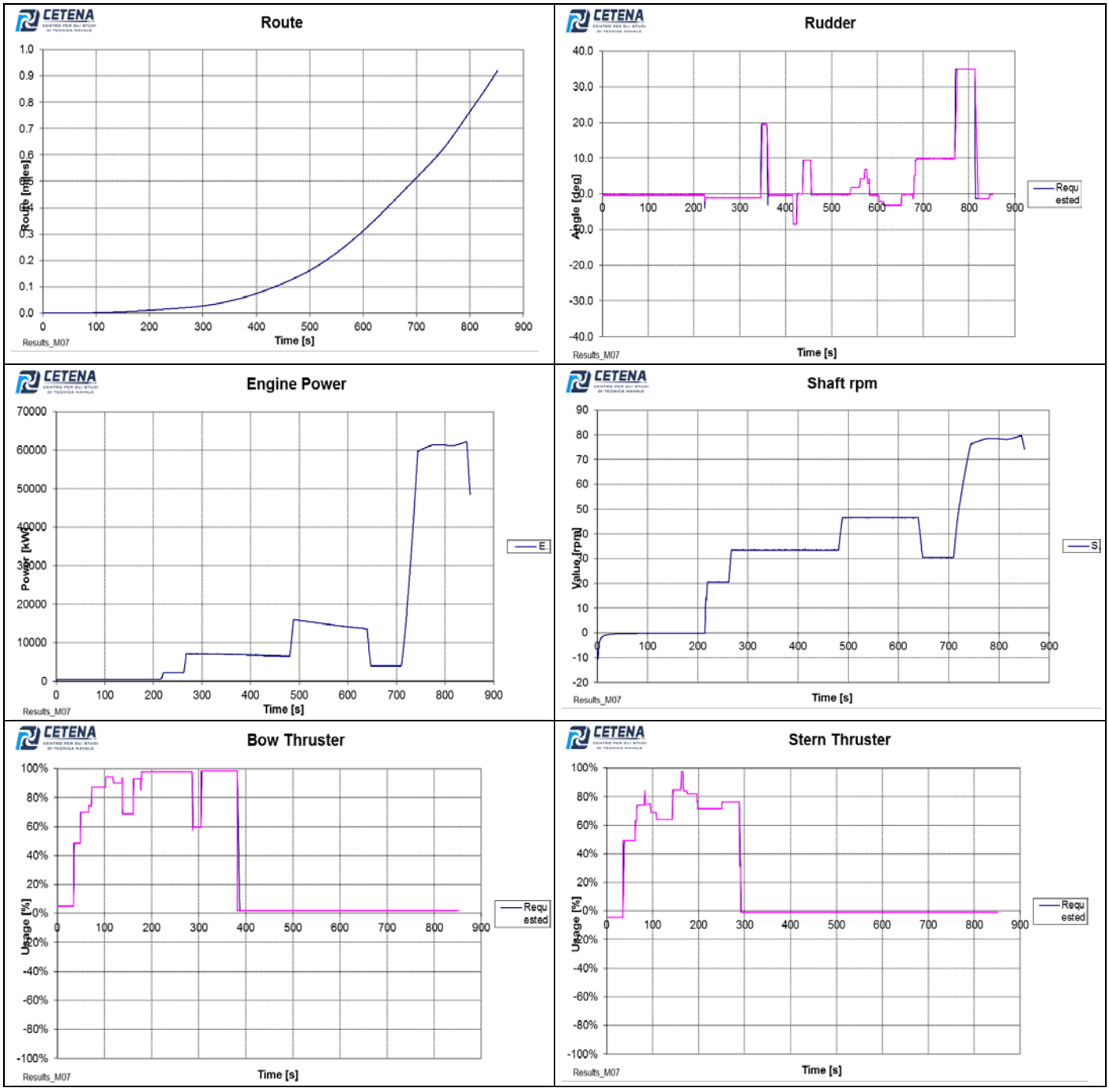


FIG. 4.6 - PARAMETRI CARATTERISTICI PER LA MANOVRA DI DISORMEGGIO DELLA EMMA MAERSK IN BANCHINA A - SIMULAZIONE M07

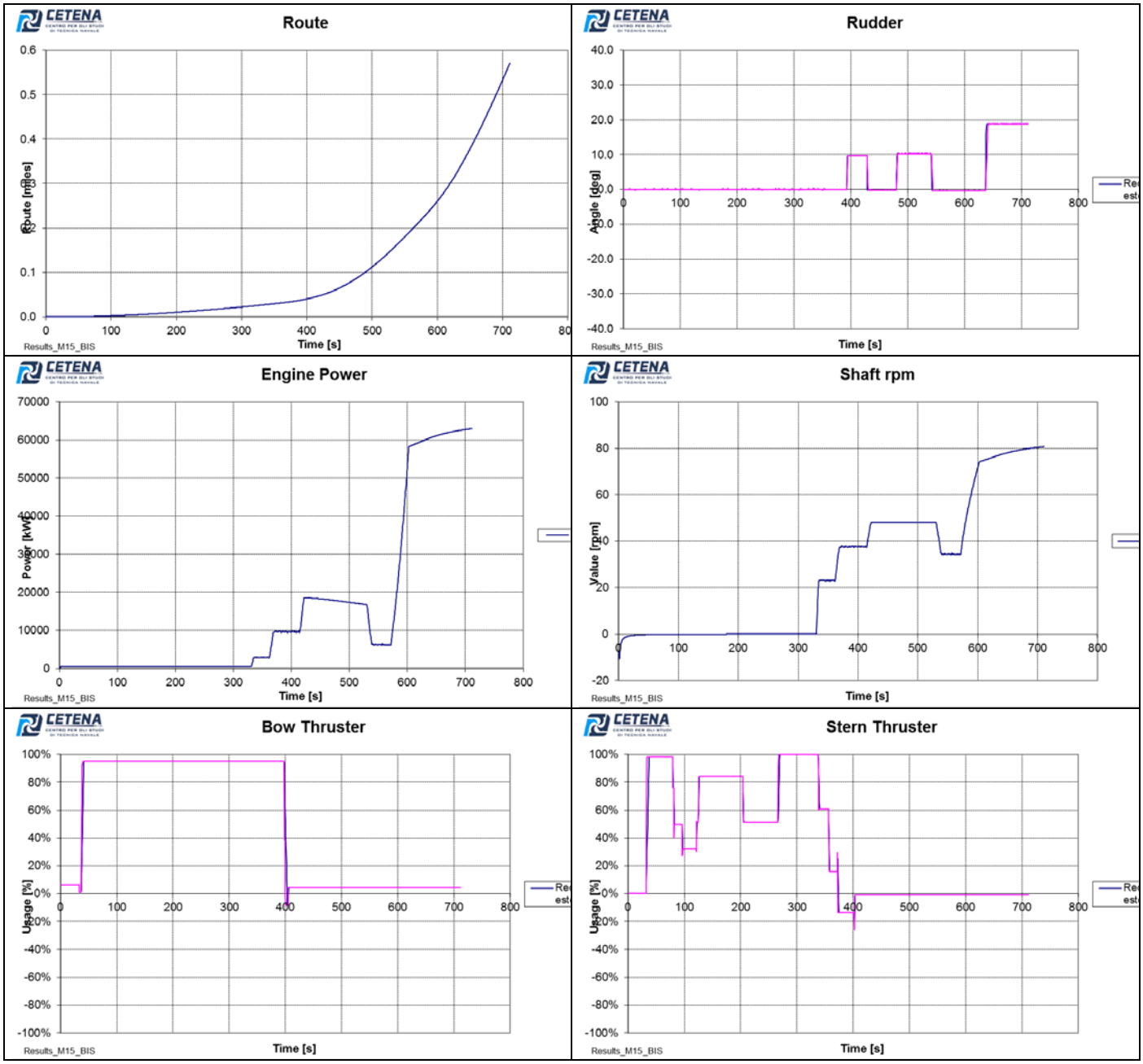


FIG. 4.7 - PARAMETRI CARATTERISTICI PER LA MANOVRA DI DISORMEGGIO DELLA EMMA MAERSK IN BANCHINA A - SIMULAZIONE M15_BIS

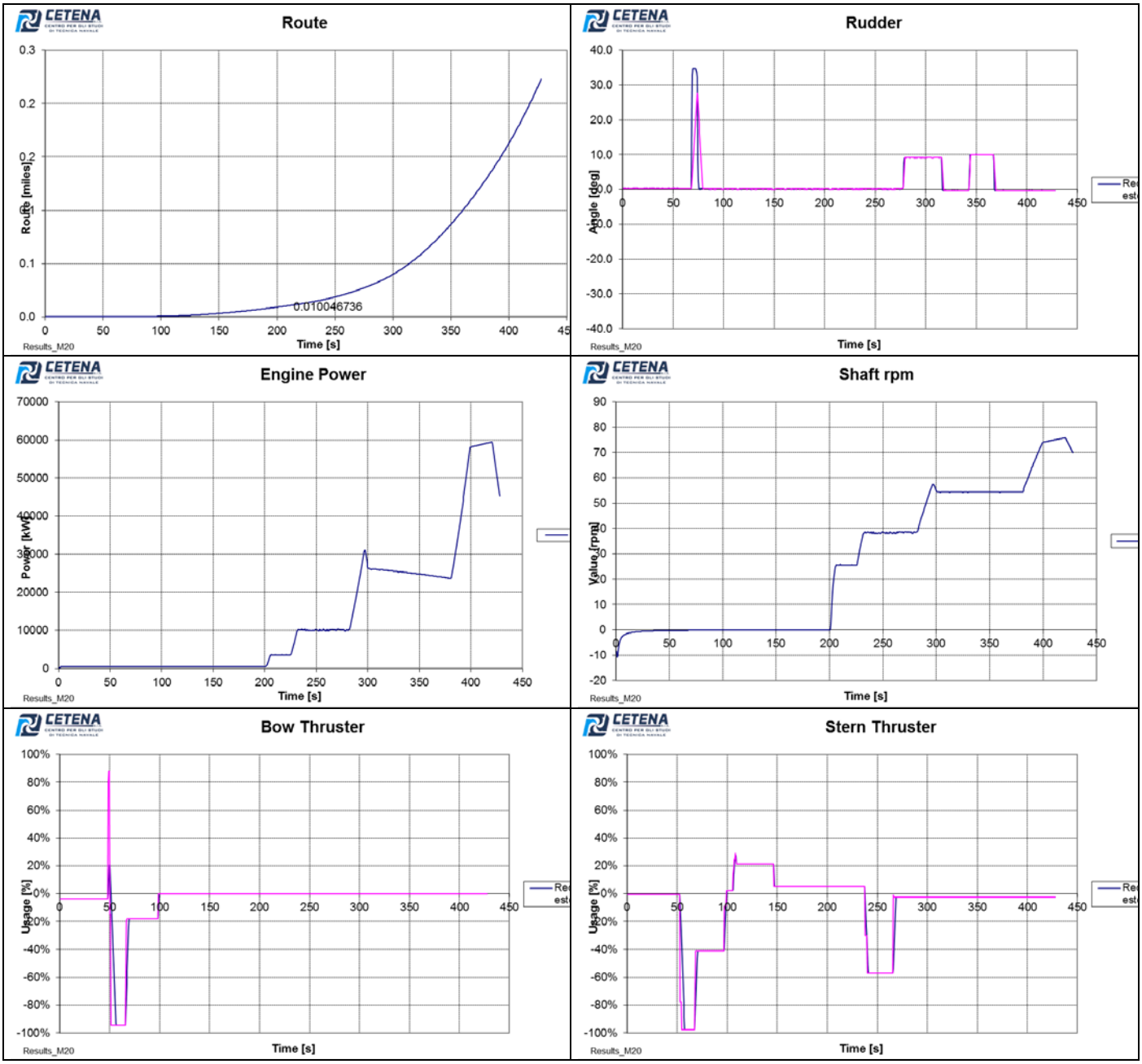


FIG. 4.8 - PARAMETRI CARATTERISTICI PER LA MANOVRA DI DISORMEGGIO DELLA EMMA MAERSK IN BANCHINA A - SIMULAZIONE M20

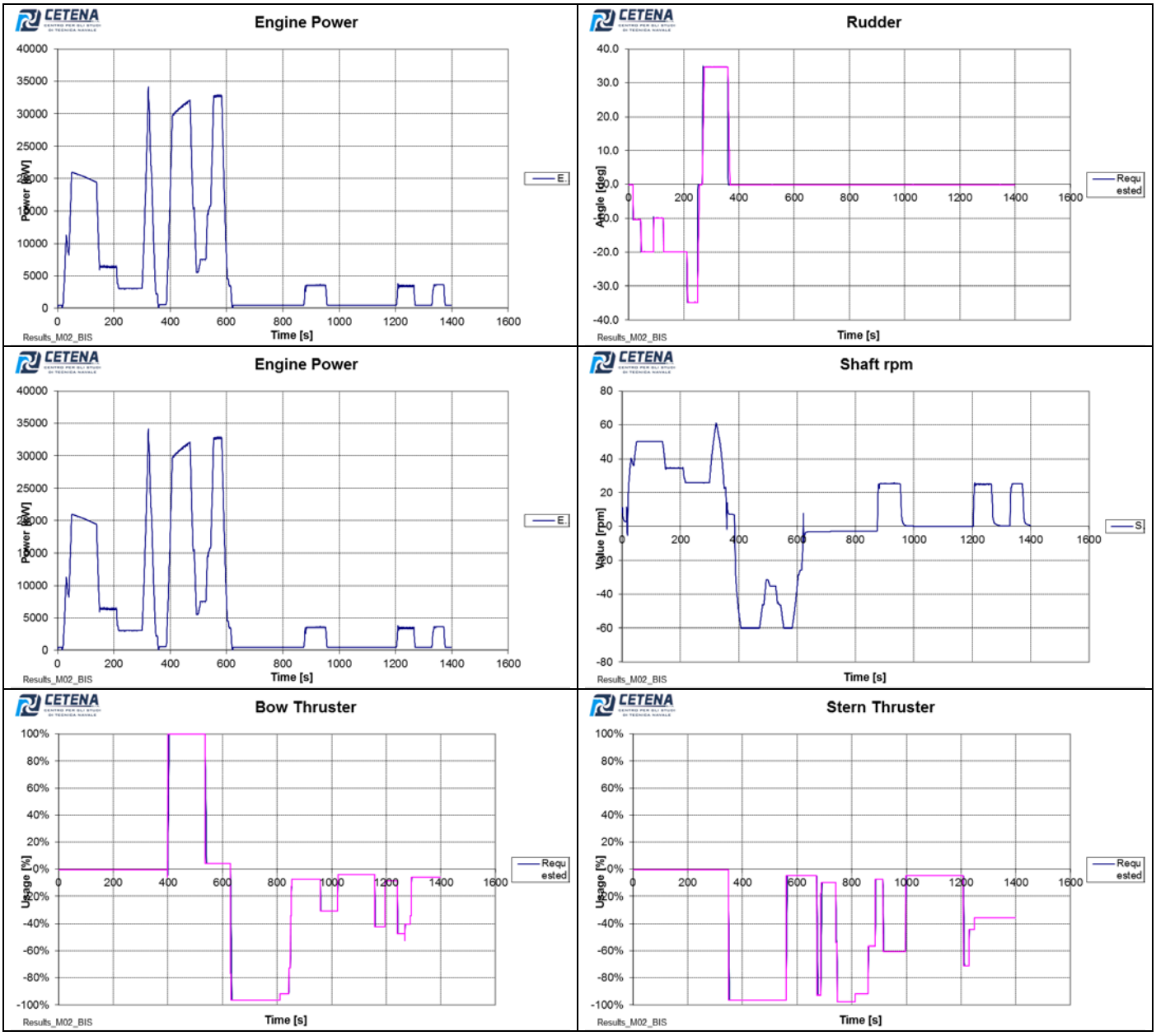


FIG. 4.9 - PARAMETRI CARATTERISTICI PER LA MANOVRA DI ORMEGGIO DELLA EMMA MAERSK IN BANCHINA A - SIMULAZIONE M02_BIS

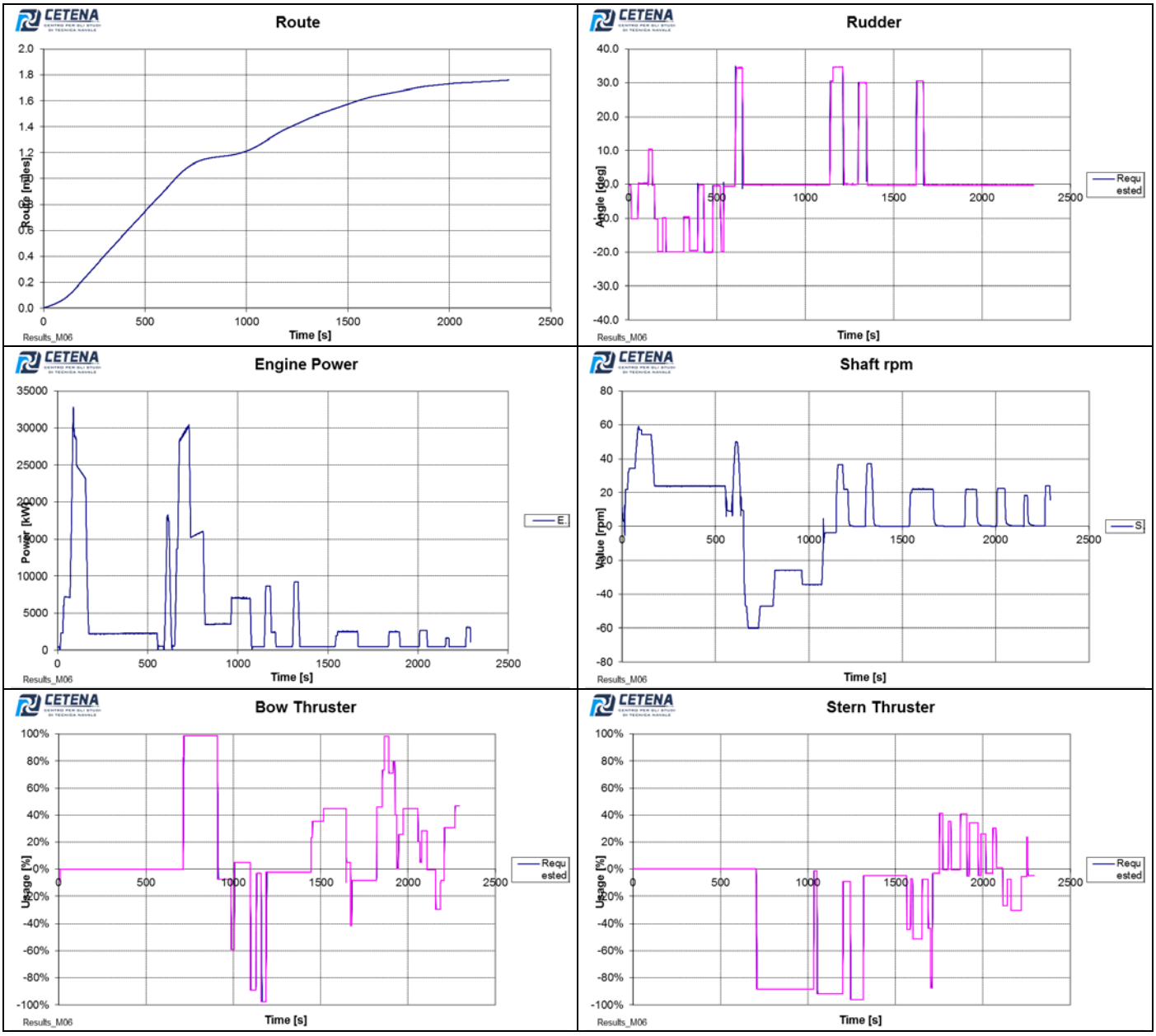


FIG. 4.10 - PARAMETRI CARATTERISTICI PER LA MANOVRA DI ORMEGGIO DELLA EMMA MAERSK IN BANCHINA A - SIMULAZIONE M06

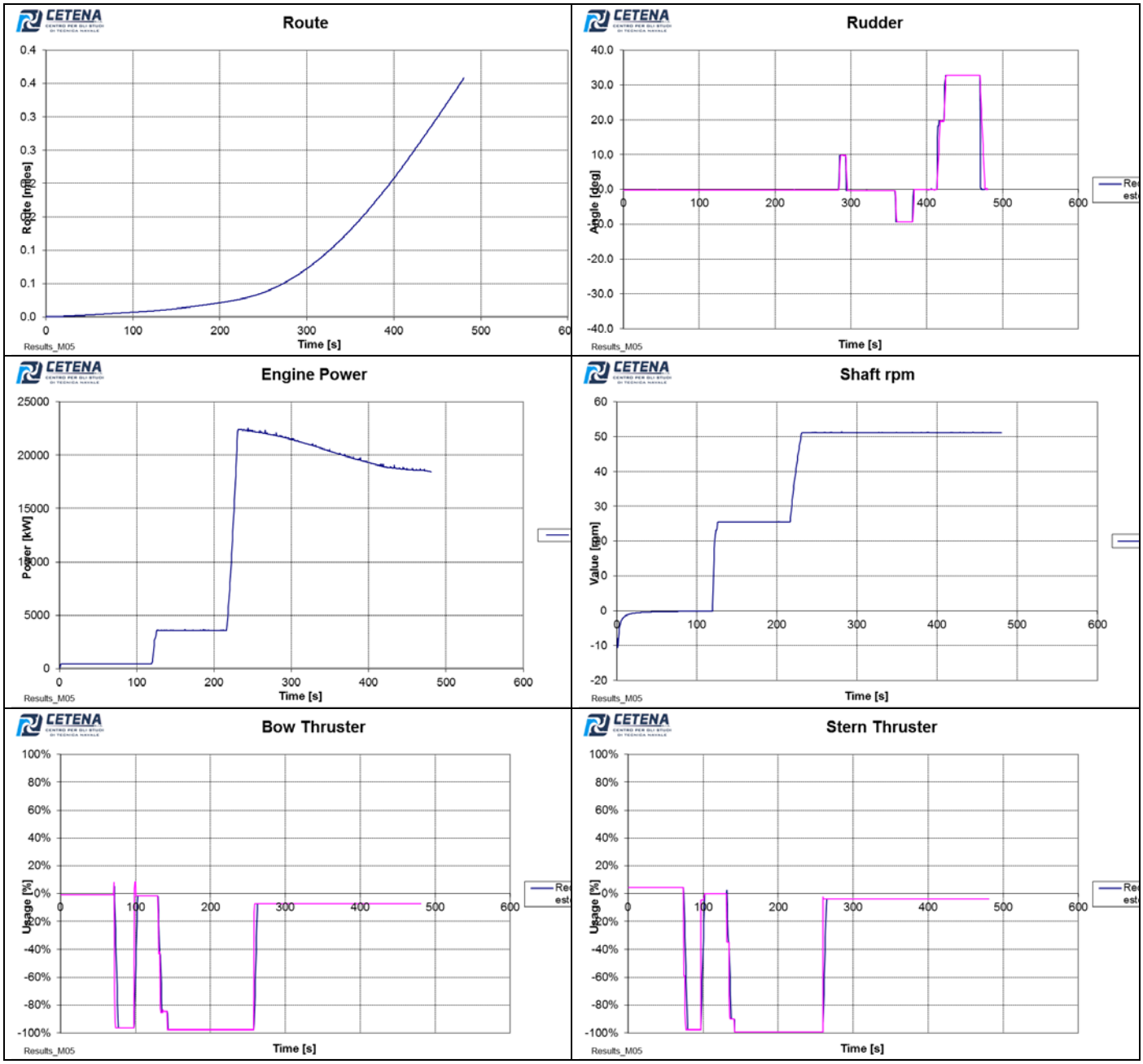


FIG. 4.11 - PARAMETRI CARATTERISTICI PER LA MANOVRA DI DISORMEGGIO DELLA EMMA MAERSK IN BANCHINA B - SIMULAZIONE M05

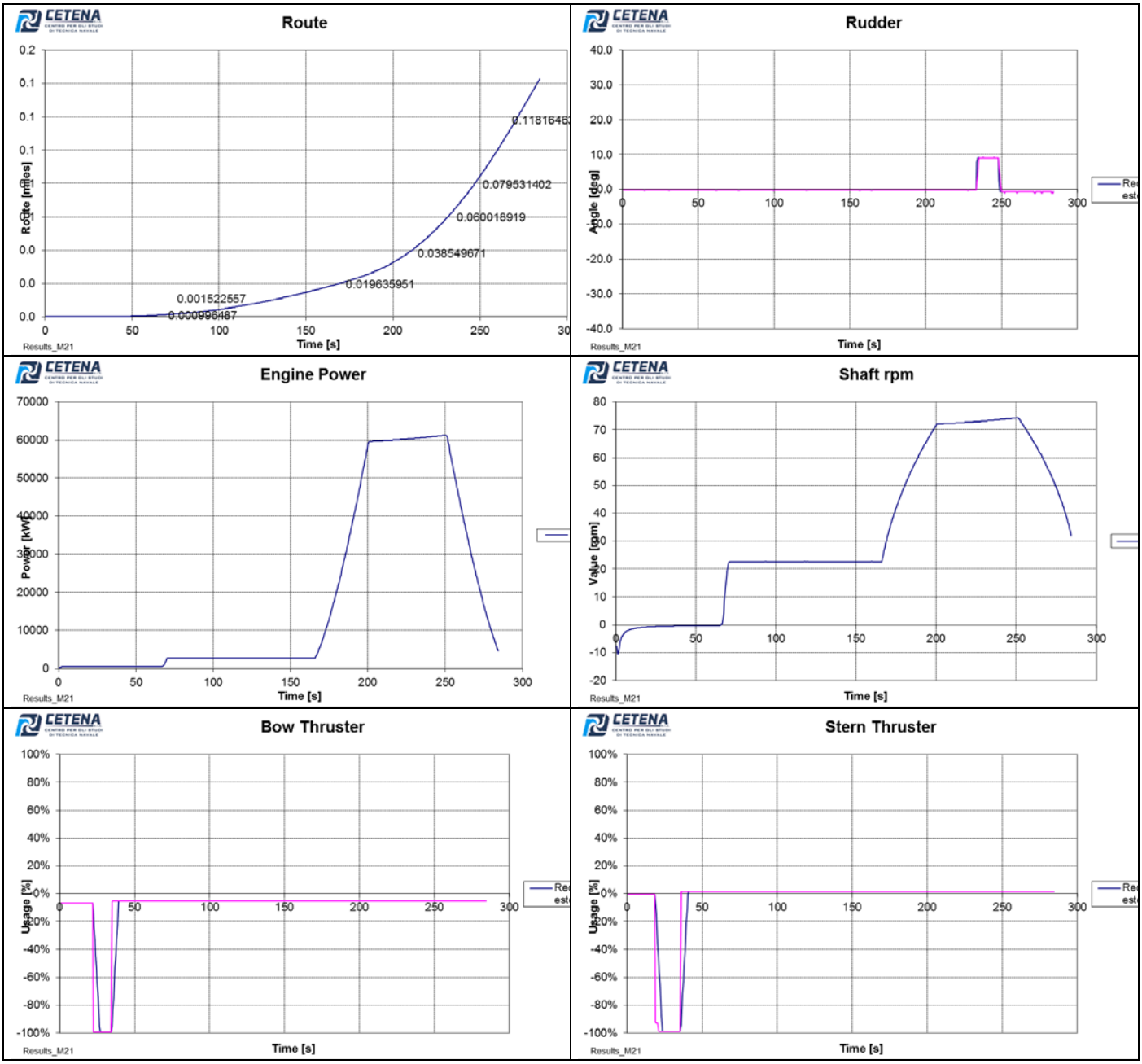


FIG. 4.12 - PARAMETRI CARATTERISTICI PER LA MANOVRA DI DISORMEGGIO DELLA EMMA MAERSK IN BANCHINA B - SIMULAZIONE M21

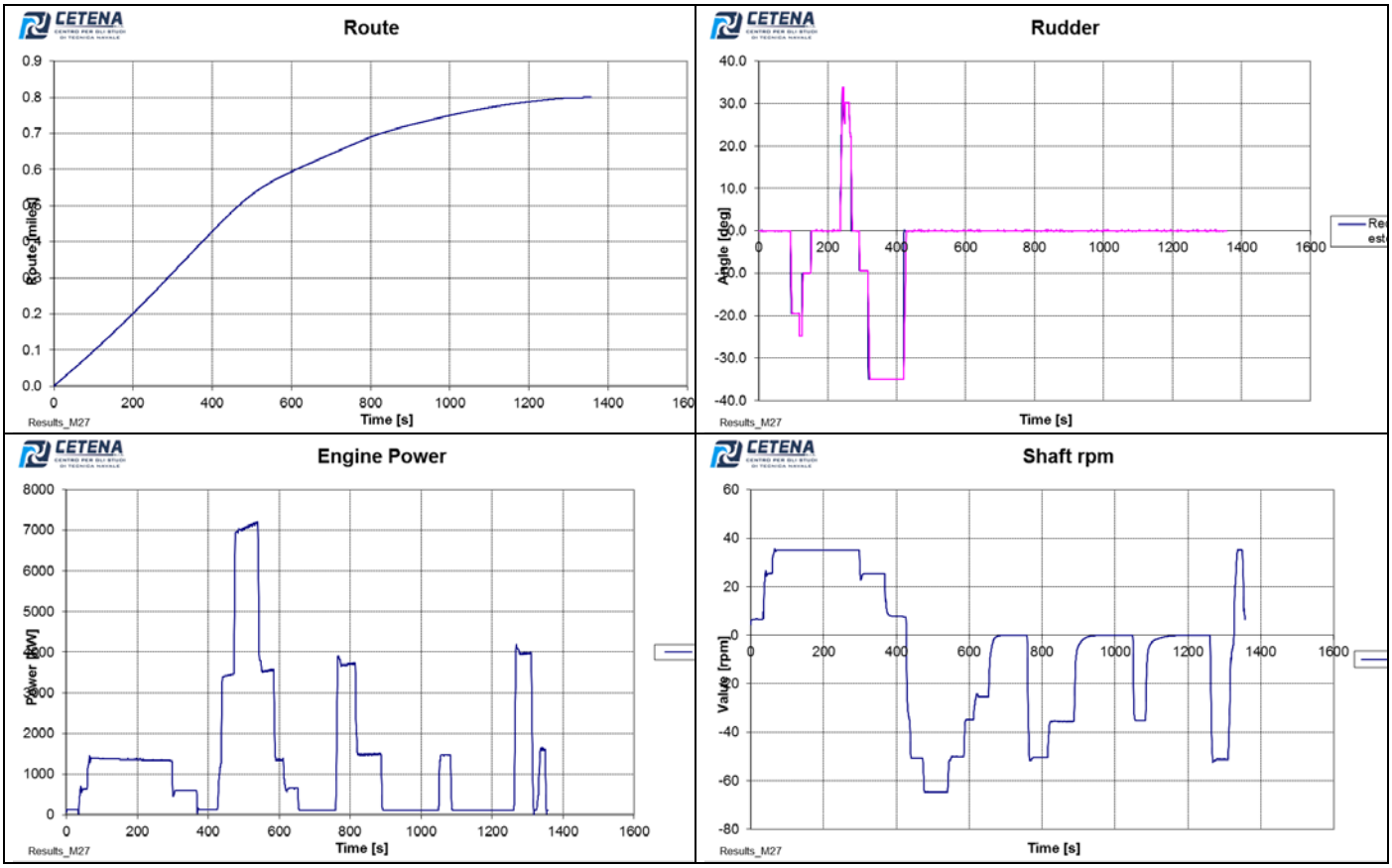


FIG. 4.13 - PARAMETRI CARATTERISTICI PER LA MANOVRA DI ORMEGGIO MINI CAPE IN BANCHINA C - SIMULAZIONE M27

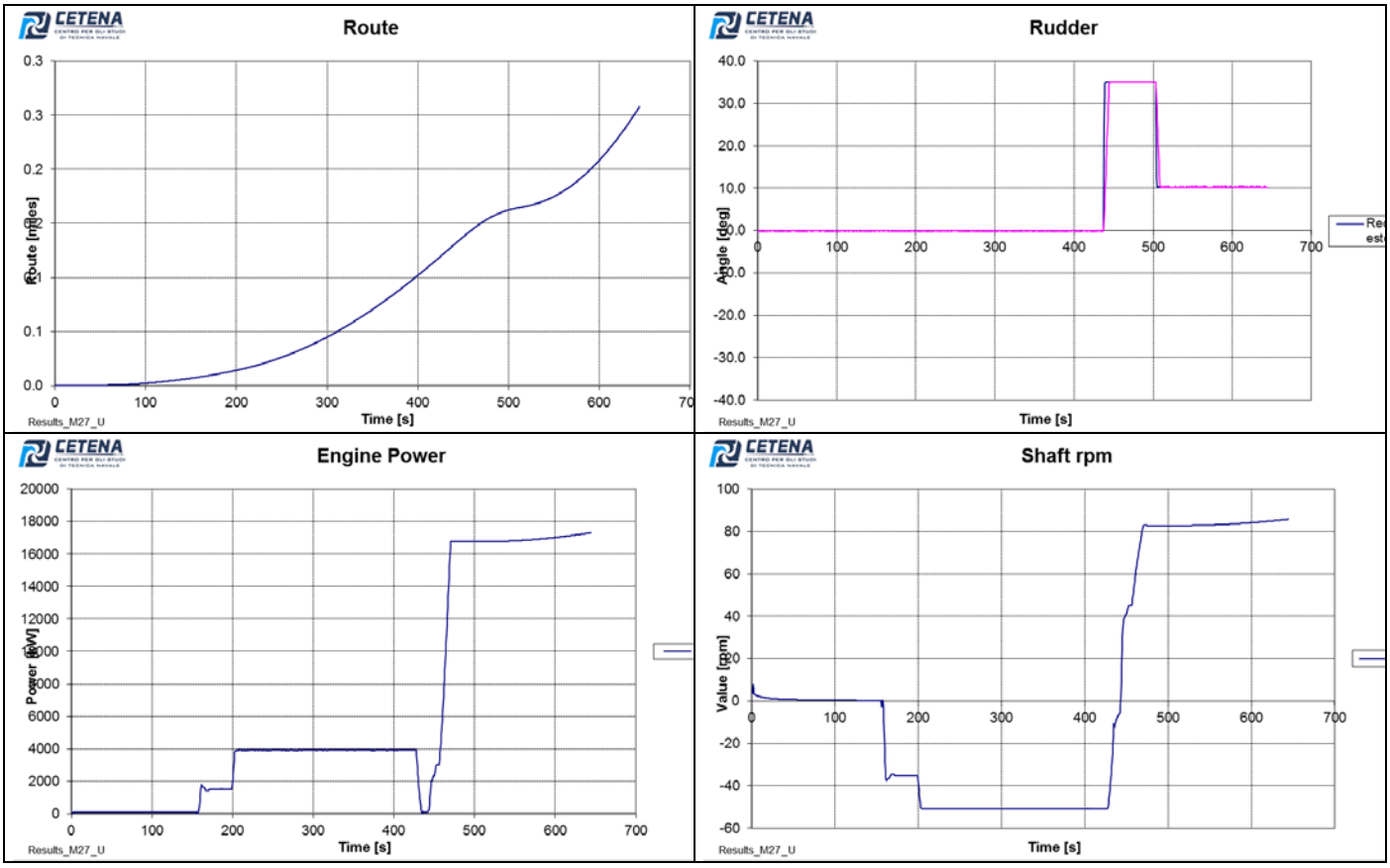


FIG. 4.14 - PARAMETRI CARATTERISTICI PER LA MANOVRA DI DISORMEGGIO DELLA MINI CAPE IN BANCHINA C - SIMULAZIONE M27_U

Dall'analisi dei grafici presentati si evincono chiaramente, per ogni banchina di accosto e tipologia di naviglio, le modalità di utilizzo dei propulsori e del timone durante le manovre d'interesse.

Manovre di disormeggio

Per le navi dotate sia di elica trasversale di prua che di poppa, come è il caso dell'Emma Maersk, la manovra di disormeggio si compone di una fase di allontanamento dalla banchina, parallelamente alla stessa, per azione delle eliche trasversali di prua e di poppa, e della successiva fase di avanzamento per effetto della progressiva azione dell'elica di poppa. Per questa tipologia di navi dotate anche di

propulsori trasversali, è possibile, in condizioni di vento non particolarmente severe, portare a termine le manovre di disormeggio anche senza l'assistenza dei rimorchiatori.

Invece per le navi prive di eliche trasversali, come nel caso delle navi rinfuse, la manovra è necessariamente assistita dai rimorchiatori, che con la loro azione aiutano il disallineamento della nave dalla banchina. Solo in una seconda fase viene quindi azionata l'elica principale che, insieme all'opportuno orientamento del timone porta la nave ad allontanarsi dall'ormeggio.

Le due fasi evidenziate per la manovra di disormeggio, in particolare per quanto riguarda le navi dotate di eliche trasversali, inducono distinte azioni idrodinamiche e interessano zone diverse del fondale vicino alla banchina. I carichi indotti dalle eliche trasversali interessano principalmente il fondale immediatamente al piede dei cassoni, mentre le eliche principali, a seconda anche delle modalità di utilizzo del timone, sollecitano una fascia di larghezza superiore a metà della larghezza della nave.

Manovre di ormeggio

Per le manovre di ormeggio, nel caso delle navi container il propulsore principale viene utilizzato brevemente e con minore intensità rispetto alle manovre di disormeggio per arrestare la nave in prossimità delle banchina (che procede a marcia indietro). Nel contempo la nave viene manovrata anche con l'ausilio dei propulsori trasversali e se necessario con i rimorchiatori.

Per la nave rinfuse invece la manovra di accosto viene effettuata con prua verso Savona e il propulsore principale viene utilizzato per fermare la nave agendo a marcia indietro. La nave rinfuse non è dotata di propulsori trasversali pertanto la manovra di accosto viene assistita dai rimorchiatori.

4.6.3. Dati di riferimento per la progettazione

Banchina container

Dai risultati presentati in precedenza, si può osservare che il vincolo planimetrico dovuto al dragaggio in corrispondenza della banchina container A implica la necessità di usare valori più alti di potenza dell'elica principale, circa 10% Pmax, per il disormeggio rispetto alla stessa manovra effettuata in corrispondenza della banchina B, dove non ci sono vincoli di fondali bassi (potenze attorno al 5% Pmax). In particolare, nel caso della banchina A l'elica principale viene azionata già a pochi metri di distanza dal filo banchina, per evitare che lo scarroccio porti la nave al di fuori dall'area dragata, mentre quando la nave disormeggia dalla banchina B i piloti tendono ad allontanarsi di diversi metri dal filo banchina prima di azionare l'elica principale.

Anche per la manovra di ormeggio, i piloti sono condizionati dal vincolo dei bassi fondali e pertanto nel caso della banchina A la nave procede in una fascia in prossimità delle strutture utilizzando anche l'elica principale, mentre per la banchina B la nave si mantiene piuttosto distante prima di utilizzare l'elica principale e pertanto le manovre di ormeggio per la banchina B non sono di interesse ai fini della protezione dei fondali. Le potenze utilizzate per l'elica principale nella fase di ormeggio in banchina A sono comunque inferiori (5% della Pmax) rispetto a quelle utilizzate per la manovra di disormeggio (10% della Pmax).

Si è inoltre visto che le suddette modalità di utilizzo dell'elica principale durante le operazioni di disormeggio e di ormeggio con riferimento ai fondali in prossimità delle strutture della banchina A, interessano una fascia longitudinale che comprende la scarpata del dragaggio in radice e uno sviluppo di 250 m di banchina A a partire dalla sua estremità lato terra. Procedendo lungo la banchina container verso mare, i fondali sono interessati, per una distanza longitudinale di ulteriori 150 m, dall'effetto di utilizzo dell'elica principale della nave in disormeggio dalla banchina B.

Dal punto di vista dell'utilizzo del timone, va peraltro evidenziato che le simulazioni analizzate per la nave portacontenitori in corrispondenza di entrambe le banchine in fase di disormeggio e ormeggio, vengono effettuate mantenendo il timone al centro o a dritta. Pertanto si può considerare che il timone non venga utilizzato a sinistra che comporterebbe la situazione più gravosa in termini di effetto delle correnti indotte dall'elica principale sulle strutture di banchina.

In corrispondenza della fascia di fondale adiacente ai cassoni vanno considerati anche i carichi dovuti all'azione dei propulsori trasversali. Come si vede dalla Tab. 4.3, queste eliche vengono utilizzate sempre al massimo della loro potenza, a prescindere dalle condizioni meteomarine e dall'accosto (A o B).

Banchina rinfuse

Per quanto riguarda la banchina rinfuse, si è osservato che le potenze utilizzate del motore dell'elica principale sono pari al 25% della massima potenza installata sia in fase di ormeggio che di disormeggio.

In fase di disormeggio, la disposizione della nave in banchina che prevede l'accosto con le mura di sinistra e i vincoli dei fondali a prua, richiedono che la manovra, dopo il distacco dalla banchina con l'ausilio dei rimorchiatori, venga eseguita con il propulsore principale a marcia indietro. In tal modo il flusso indotto dall'elica principale risulta diretto verso i fondali antistanti la banchina rinfuse. Anche in fase di ormeggio l'elica principale viene utilizzata a marcia indietro per fermare la nave, che viene poi accostata in banchina con l'ausilio dei rimorchiatori.

Si è potuto inoltre constatare che la posizione della nave e quindi dell'elica principale riguarda un tratto di banchina di 50 m verso ponente a partire dallo spigolo container-rinfuse. La modalità di manovra a marcia indietro determina un flusso indotto dall'elica principale diretto verso ponente per un tratto di banchina esteso fino a 100 m a partire dalla posizione dell'elica. In effetti le massime velocità del-

le correnti sui fondali indotte dall'elica principale, come indicato nel PIANC, si verificano a una distanza di 4 -10 volte il franco sotto l'asse dell'elica (nel nostro caso pari a circa 10 m nel tratto dove la nave manovra). Pertanto il tratto di banchina interessato dalle correnti indotte dall'elica principale sarà al massimo pari a 150 m a partire dallo spigolo container-rinfuse.

Dal punto di vista dell'utilizzo del timone, va evidenziato analogamente alle container che le manovre vengono effettuate mantenendo il timone al centro o a dritta. Pertanto si può considerare che il timone non venga utilizzato a sinistra che comporterebbe la situazione più gravosa in termini di effetto delle correnti indotte dall'elica principale sulle strutture di banchina.

Con riferimento ai dati sopra presentati, sono stati definiti i criteri di progetto per il dimensionamento della protezione dei fondali in termini di potenza e RPM riguardo all'uso dei propulsori nell'area delle banchine (vedi Tab. 4.4).

TAB. 4.4 - POTENZE E GIRI DEL MOTORE DELL'ELICA PRINCIPALE RISCONTRATE DALLE SIMULAZIONI

Nave	Tratto di banchina	Elica principale	
		RPM	P
		(-)	(%P_{max})
Emma Maersk allibata in disormeggio dalla banchina A	Scarpata del dragaggio in radice e 250 m dall'estremità lato terra della banchina A	35	10%
Emma Maersk a pieno carico in disormeggio dalla banchina B	Per ulteriori 150 m verso mare	25	5%
Mini Cape	Spigolo container-rinfuse e tratto banchina rinfuse di 150 dallo stesso spigolo verso ponente	50	25%

5. CRITERI DI PROGETTO

5.1. Modalità di utilizzo dei propulsori delle navi per le manovre in prossimità delle banchine

I flussi generati dal sistema di propulsione (eliche principale e propulsori trasversali) delle navi di progetto possono causare scavi in corrispondenza delle strutture portuali e conseguenti notevoli danni alle banchine compromettendone l'operatività.

La manovra ritenuta la più gravosa in termini di velocità delle correnti indotte sul fondale è generalmente quella di disormeggio e partenza della nave di progetto dalla banchina, come confermato anche dalle simulazioni di manovra in tempo reale descritte nel capitolo 4. Queste manovre, assunte come riferimento per il dimensionamento della protezione dei fondali, dipendono principalmente dalle dotazioni della nave di progetto.

Per le navi dotate di elica trasversale di prua, come ad esempio la nave petroli Ottomana, o di prua e di poppa, come il caso della Emma Maersk, la manovra si compone in genere di una fase di disallineamento dalla banchina ad opera delle eliche trasversali e della successiva e progressiva azione dell'elica principale di poppa che tende ad allontanare la nave dall'ormeggio facendole guadagnare l'uscita dal porto.

Al contrario per le navi prive di eliche trasversali, come nel caso delle navi rinfuse, la manovra è necessariamente assistita dai rimorchiatori, che con la loro azione aiutano il disallineamento della nave dalla banchina. Solo in una seconda fase viene quindi azionata l'elica principale che porta la nave ad allontanarsi dall'ormeggio.

Le due fasi evidenziate per la manovra di disormeggio, in particolare per quanto riguarda le navi dotate di eliche trasversali, inducono distinte azioni idrodinamiche e interessano zone diverse del fondale vicino alla banchina.

I carichi indotti dalle dalle eliche trasversali interessano principalmente il fondale immediatamente al piede dei cassoni, mentre le eliche principali, a seconda anche delle modalità di utilizzo del timone, sollecitano una fascia di larghezza superiore a metà della larghezza della nave.

Di seguito sono riassunti i criteri di progetto contenuti nelle principali linee guida internazionali di riferimento e quelli desunti dai risultati delle studio condotto con il simulatore di manovra in tempo reale presso i laboratori del CETENA S.p.A.

5.1.1. Linee guida internazionali

Le principali linee guida internazionali per il dimensionamento delle protezione al piede delle strutture di banchina sono qui di seguito elencate:

- "Guidelines for the design of armoured slopes under open piled quay walls" - Report of the Working Group 22 of PTC II (MarCom), Supplement to Bulletin no. 96 (1997) of PIANC;
- "Input data of propeller induced velocities for dimensioning of bed protection near quay walls" - K. Römish, W. Hering, Bulletin no. 109 (2002) of PIANC [Rif. 7];
- "The Rock Manual. The use of rock in Hydraulic Engineering (second edition)". C683, CIRIA [Rif. 8].
- "Principles for the Design of Bank and Bottom Protection for Inland Waterways. Bulletin n°88", Federal Waterwyas Engineering and Research Institure, Germany, August 2005
- "Recommendations of the Committee for Waterfront Structures Harbours andWaterways". EAU 1996, Edition Ernst und Sohn, 9th German edition Berlin 1997 and 7th English edition Berlin 2000.

In Tab. 5.1 sono presentati per i propulsori principali, i valori di potenza del motore e i giri dell'elica associati suggeriti dal PIANC.

TAB. 5.1 - POTENZE CARATTERISTICHE E RISPETTIVI GIRI DEL MOTORE - PIANC WG22 (1997)

Utilizzo del motore	PIANC	
	RPM	P
	(%)	(%)
Maximum Power	100	100
Full ahead - service speed	90…85	51…73
Full ahead - manoeuvring in port	63…57	18…25
Half ahead	48…43	11…8
Slow ahead – berthing/unberthing	32…29	2…3
Dead slow ahead – berthing/unberthing	16…14	0,3…0,4

Le indicazioni in merito alle modalità di utilizzo dei propulsori principali nell'ambito delle manovre di ormeggio e di disormeggio contenute nel PIANC, risultano comunque non precisamente definite. Nella tabella sopra per le fasi di ormeggio e disormeggio sono evidenziate potenze fino al 3% di Pmax, tuttavia nelle raccomandazioni generali contenute nello stesso PIANC si indicano anche potenze di riferimento pari al 10% di Pmax.

Per quanto riguarda l'utilizzo dei propulsori trasversali tutte le pubblicazioni concordano nel considerare che queste eliche vengano usate al 100% della loro potenza durante le manovre di ormeggio e disormeggio.

5.1.2. Risultati delle simulazioni di manovra delle navi in tempo reale

Dall'analisi dei risultati delle simulazioni di manovra in tempo reale (presentati più dettagliatamente nel capitolo 4) è stato possibile definire i criteri di progetto riguardanti le modalità di utilizzo delle eliche dalle navi nell'ambito delle manovre in prossimità delle banchine. Si fa notare che l'effetto delle eliche principali (vedi Tab. 5.2), secondo quanto riscontrato dalle simulazioni di manovra, riguarda tratti specifici delle banchine.

TAB. 5.2 - POTENZE E GIRI DEL MOTORE DELL'ELICA PRINCIPALE RISCONTRATE DALLE SIMULAZIONI

Nave	Tratto di banchina	Elica principale	
		RPM	P
		(-)	(%Pmax)
Emma Maersk allibata in disormeggio dalla banchina A	Scarpata del dragaggio in radice e 250 m dall'estremità lato terra della banchina A	35	10%
Emma Maersk a pieno carico in disormeggio dalla banchina B	Per ulteriori 150 m verso mare	25	5%
Mini Cape	Spigolo container-rinfuse e tratto banchina rinfuse di 150 dallo stesso spigolo verso ponente	50	25%

L'effetto delle eliche trasversali della Emma Maersk, il cui motore di alimentazione viene usato al 100% della sua potenza, può interessare invece più tratti della banchina container in quanto la nave di progetto è dotata di eliche trasversali di prua e di poppa. In via cautelativa pertanto si è considerato il carico idrodinamico indotto dalle eliche trasversali sull'intera banchina container.

La nave di progetto delle rinfuse non è dotata di eliche trasversali, come detto in precedenza, pertanto non sono presenti i relativi effetti idrodinamici.

5.1.3. Conclusioni

Per quanto riguarda la nave container Emma Maersk le indicazioni sulla potenza utilizzata dall'elica principale raccomandate dal PIANC (almeno le raccomandazioni generali che indicano il 10% di Pmax) sono in linea con quanto ottenuto dalle simulazioni in tempo reale.

Per quanto riguarda le eliche trasversali, si è osservata invece la totale coerenza tra i risultati delle simulazioni e quando sostenuto nelle linee guida, ovvero la tendenza ad utilizzare il massimo della potenza di queste eliche sia in ormeggio che in disormeggio.

Tenendo conto delle linee guida e soprattutto dei risultati delle simulazioni in tempo reale per L'Emma Maersk e la Mini Cape, sono stati considerati i criteri riportati nelle tabelle seguenti per il calcolo dei carichi indotti dall'elica principale e dai propulsori trasversali delle navi di progetto sulla protezione al piede dei cassoni e sulla scogliera a protezione del rilevato di fondazione dei cassoni.

TAB. 5.3 - NUMERO DI GIRI E POTENZA DEL MOTORE DELL'ELICA PRINCIPALE PER IL DIMENSIONAMENTO DELLA PROTEZIONE

Nave	Tratto di banchina	Elica principale	
		RPM	P
		(-)	(%Pmax)
Emma Maersk allibata in disormeggio dalla banchina A	Scarpata del dragaggio in radice e 250 m dall'estremità lato terra della banchina A	35	10%
Emma Maersk a pieno carico in disormeggio dalla banchina B	Per ulteriori 250 m (invece di 150 m) verso mare	25	5%
Mini Cape	Spigolo container-rinfuse e tratto banchina rinfuse di 150 dallo stesso spigolo verso ponente	50	25%
Ottomana	Intero sviluppo della banchina Petroli	-	25%

Per la banchina A, le suddette modalità di utilizzo dell'elica principale durante le operazioni di disormeggio e di ormeggio con riferimento ai fondali in prossimità delle strutture , interessano una fascia longitudinale che comprende la scarpata del dragaggio in radice e uno sviluppo di 250 m di strutture di banchina a partire dall'estremità lato terra. In via cautelativa, analogamente a quanto riscontrato per

l'accosto A, si sono considerati ulteriori 250 m (invece di 150 m) verso mare per le modalità di utilizzo dell'elica principale indicate in tabella per la nave a pieno carico in accosto B. Pertanto l'effetto dell'elica principale sui fondali riguarda un tratto longitudinale complessivo di 500 m a partire dall'estremità lato terra della banchina container.

Riguardo alla nave petroli di progetto (Ottomana), non essendo state eseguite manovre con il simulatore real time, si è scelto di adottare una modalità analoga a quella ottenuta per la nave rinfuse che implica l'utilizzo dell'elica principale al 25% della massima potenza. Si è ritenuto in via cautelativa che questa modalità interessi l'intero sviluppo della banchina Petroli.

Infine nalle tabella seguente sono riportati i criteri per il calcolo dei carichi indotti dai propulsori trasversali delle navi di progetto sulla protezione al piede dei cassoni e sulla scogliera a protezione del rilevato di fondazione dei cassoni, dedotti in base alle linee guida di letteratura e le simulazioni in real time.

TAB. 5.4 - NUMERO DI GIRI E POTENZA DEL MOTORE DELLE ELICHE TRASVERSALI PER IL DIMENSIONAMENTO DELLA PROTEZIONE

Nave	Tratto di Banchina	Eliche trasversali P (kW)
Emma Maersk	Intero sviluppo banchina container	100%
Mini Cape	-	-
Ottomana	Intero sviluppo banchina Petroli	100%

L'effetto delle eliche trasversali della nave container, il cui motore di alimentazione viene usato al 100% della sua potenza, interessa più tratti della banchina, in quanto la nave di progetto è dotata di eliche trasversali di prua e di poppa. Pertanto in via cautelativa si è considerato tale effetto esteso all'intera banchina container.

Per il propulsore trasversale della nave petroli di progetto si è assunto l'utilizzo del 100% della potenza massima, come da letteratura indicato. Si è ritenuto in via cautelativa che questa modalità interessi l'intero sviluppo della banchina Petroli.

5.2. Periodo di ritorno dell'onda di progetto

Il periodo di ritorno dell'onda di progetto è stato definito in conformità alle Istruzioni Tecniche per la progettazione delle dighe frangiflutti edite dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (1996). Il periodo di ritorno dipende dalla vita tecnica dell'opera e dalla massima probabilità di danneggiamento ammissibile nel periodo di vita operativa dell'opera.

La durata minima di vita per le opere è definita nella Tab. 5.5.

TAB. 5.5 - DURATA MINIMA DI VITA PER OPERE O STRUTTURE DI CARATTERE DEFINITIVO T_V

Tipo dell'opera	Livello di sicurezza richiesto		
	1	2	3
	Vita utile di progetto (anni)		
Infrastrutture di uso generale	25	50	100
Infrastrutture ad uso specifico	15	25	50

Per infrastrutture di uso generale si intendono opere di difesa di complessi civili o industriali, che non siano destinati ad uno specifico scopo e per i quali non è chiaramente identificabile il termine della vita funzionale dell'opera. Per infrastrutture ad uso specifico si intendono le opere di difesa di singole installazioni industriali, di porti industriali, di depositi o piattaforme di carico e scarico, di piattaforme petrolifere, ecc..

Il livello di sicurezza 1 si riferisce ad opere o installazioni di interesse locale ed ausiliario, comportanti un rischio minimo di perdita di vite umane o di danni ambientali in caso di collasso della stessa (difese costiere, opere in porti minori o marina, scarichi a mare, strade litoranee ecc.).

Il livello di sicurezza 2 si riferisce ad opere e installazioni di interesse generale, comportanti un moderato rischio di perdita di vite umane o di danni ambientali in caso di collasso dell'opera (opere di grandi porti, scarichi a mare di grandi città, ecc.).

Il livello di sicurezza 3 si riferisce ad opere o installazioni per la protezione dall'inondazione o di interesse sopranazionale, comportanti un elevato rischio di perdita di vite umane o di danno ambientale in caso di collasso della stessa (difese di centri urbani o industriali, ecc.).

Per quanto riguarda la probabilità di occorrenza dell'onda di progetto, si assumeranno le probabilità corrispondenti al danneggiamento incipiente od alla distruzione totale in relazione alle deformazioni-modificazioni subite dall'opera in caso di danneggiamento ed alla difficoltà di riparare il danno subito (vedi Tab. 5.6).

Per strutture rigide (dighe a parete verticale), per le quali è estremamente difficile riparare il danno, si assume la probabilità di distruzione totale. Per strutture flessibili o comunque per opere riparabili (ad es. dighe a scogliera o impalcati su pali), si assume la probabilità corrispondente al danneggiamento incipiente inteso come il livello di danneggiamento predefinito in relazione al tipo di struttura, al di sopra del quale il danno è apprezzabile e risulta necessario intervenire con lavori di manutenzione.

Per queste opere si deve comunque verificare anche lo scenario di rovina totale, cioè del superamento di un livello di danneggiamento predefinito in relazione al tipo di struttura, al di sopra del quale l'opera cessa di svolgere un'apprezzabile funzione protettiva.

TAB. 5.6 - MASSIMA PROBABILITÀ DI DANNEGGIAMENTO AMMISSIBILE NEL PERIODO DI VITA OPERATIVA DELL'OPERA P_F

Danneggiamento incipiente		
Ripercussione economica	Rischio per la vita umana	
	Limitato	Elevato
Bassa	0,50	0,30
Media	0,30	0,20
Alta	0,25	0,15
Distruzione totale		
Ripercussione economica	Rischio per la vita umana	
	Limitato	Elevato
Bassa	0,20	0,15
Media	0,15	0,10
Alta	0,10	0,05

Per rischio limitato per la vita umana si intendono i casi in cui a seguito del danneggiamento non è prevista alcuna perdita di vite umane. Quando queste perdite sono preventivabili, il rischio è elevato. Per ripercussione economica bassa, media ed alta s'intendono casi in cui il rapporto fra i costi diretti del danneggiamento, sommati a quelli indiretti dovuti alla perdita di funzionalità delle opere protette ed, il costo totale per la realizzazione dell'opera è minore di 5, è compreso fra 5 e 20 o è maggiore di 20.
La combinazione del tempo di vita dell'opera T_v e della probabilità di danneggiamento P_f, determina il tempo di ritorno dell'evento di progetto T_{rp}:

$$T_{rp} = T_v/[-\ln (1-P_f)]$$

Alle opere presentate in questo progetto per la loro importanza si può associare un livello di sicurezza pari a 2. Tutte le opere definitive possono essere considerate come infrastrutture civili di uso generale, cui corrisponde quindi un tempo di vita di 50 anni.

Per quanto riguarda la massima probabilità di danneggiamento ammissibile nel periodo operativo dell'opera, riguardo alle opere di protezione dei fondali in materassi e/o scogliera, si assume la probabilità corrispondente alla distruzione totale. Inoltre si assume un rischio per la vita umana limitato e una ripercussione economica bassa. Questo criterio di progetto corrisponde a quello adottato per i cassoni da proteggere con le opere in questione. Questo perché, un danno all'opera di protezione, potrebbe compromettere la stabilità dei cassoni, e avere importanti ripercussioni sull'operatività della piattaforma. Ne deriva che nel dimensionamento delle opere di protezione presentate in questo progetto si sono adottati i valori dell'altezza d'onda significativa corrispondenti ai periodi di ritorno di 250 anni, come riportato in Tab. 5.7:

TAB. 5.7 - PERIODI DI RITORNO DELL'ONDA DI PROGETTO

T_v (anni)	P_f	$T_{rp,\ teorico}$ (anni)	$T_{rp,\ adottato}$ (anni)
50	0,2	224	250

5.3. Larghezza della protezione dei fondali antistanti le banchine

La larghezza della protezione dei fondali antistanti le banchine è stata definita in relazione all'esigenza di assicurare la stabilità d'insieme del sistema terreno di fondazione-strutture (nel rispetto pertanto dei coefficienti di sicurezza previsti da normativa) e nel contempo di limitare i cedimenti delle strutture entro il limite previsto per garantire la funzionalità dell'opera in esercizio.

La limitazione sui cedimenti rappresenta il vincolo maggiore in quanto i limiti previsti sono molto restrittivi per assicurare la funzionalità della piattaforma e pertanto i coefficienti di sicurezza di riferimento per le veriche di stabilità globale sono stati incrementati di un 10-20% (in relazione alla tipologia di struttura di banchina e di caratteristiche stratigrafiche dei terreni) rispetto a quelli previsti da normativa. Queste verifiche sono state effettuate inoltre, assumendo in via caute-

lativa situazioni di scavo al piede della protezione stessa dell'ordine di 2-3 m (si veda a riguardo la specifica relazione di calcolo geotecnico).

Si è potuto constatare peraltro che la larghezza della protezione ottenuta sulla base dei suddetti criterio risulta congruente con quanto suggerito in letteratura in relazione all'azione delle onde e delle correnti indotte dalle eliche delle navi.

Per quanto riguarda l'azione delle onde, la larghezza minima della protezione del fondale antistante le banchine viene normalmente definita con riferimento a ¼ della lunghezza dell'onda di progetto incidente, come enunciato nella pubblicazione di Xie, 1981.

Per quanto riguarda invece l'azione delle eliche, le linee guida del PIANC WG 22, (1997) la larghezza della protezione non deve essere inferiore a:

$$L_{p,eliche} = B/2 + D + 5\ m$$

B: larghezza della nave di progetto

D: distanza dal filo cassone al filo del pannello del parabordo

5.4. Dimensionamento della protezione in massi naturali

5.4.1. Verifica delle mantellate e degli strati del filtro

La stabilità della protezione del fondale in massi naturali va verificata prendendo in considerazione sia le azioni dovute alle onde di progetto (aventi Tr=250 anni come definito nel par.5.2) che quelle dovute alle eliche.

Come indicato nelle "Istruzioni Tecniche per la progettazione delle dighe marittime" (1996), la stabilità della scogliera di fondazione sottoposta all'azione delle onde, viene calcolata usando la formula di Tanimoto et al. (1982) modificata da Takahashi et al. (1990) per tenere conto dell'angolo di incidenza dell'onda di progetto sulla stabilità della scogliera.

La stabilità della protezione dei fondali in massi naturali, sottoposti all'azione delle eliche principali delle navi in manovra, viene invece verificata tenendo conto delle modalità di utilizzo delle eliche in prossimità della banchina (par.5.1) e del rapporto tra la profondità del fondale e il pescaggio della nave di progetto, come indicato nel PIANC WG22.

La verifica della stabilità degli strati di filtro viene eseguita in conformità alle Istruzioni Tecniche per la progettazione delle dighe frangiflutti edite dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (1996), adottando la regola dei filtri di Terzaghi:

$$\frac{d_{15s}}{d_{85i}} < 4-5 \qquad \text{e} \qquad \frac{d_{15s}}{d_{15i}} < 20-25$$

con i pedici s ed i si indicano rispettivamente il diametro dello strato di granulometria superiore (strato filtro) e quello di granulometria inferiore (strato base). La prima relazione è nota anche come "criterio di ritenzione", in quanto il suo soddisfacimento preventiva dalla perdita dei materiali dello strato base attraverso lo strato filtro.

5.4.2. Spessori delle mantellate e degli strati filtro

Lo spessore delle opere in scogliera viene stabilito sulla base della seguente relazione:

$$t_a = n \cdot k_t \cdot D_{n50}$$

- t_a = n kt D_{n50}, dove:
- n = numeri di strati considerati
- k_t = coefficiente di spessore dello strato funzione del numero di strati.

Nel caso di n=2 si assume k_t = 1,0.

5.4.3. Dimensionamento del geotessile

Il geotessile, per poter garantire un efficace effetto di filtro deve soddisfare due criteri principali:

– i pori, definiti dal parametro caratteristico O_{90}, devono essere sufficientemente piccoli da impedire la perdita di fini del materiale sottostante;
– il geotessile deve avere una permeabilità sufficiente a prevenire l'accumulo di sottopressioni eccessive nel materiale sottostante.

Per soddisfare il primo criterio, il parametro O_{90} dovrà rispettare quanto riportato in Tab. 5.8.

TAB. 5.8 - CRITERIO PER LA DEFINIZIONE DEL GEOTESSILE

Terreno		
Coesivo	$O_{90}<10D_{50}$	$O_{90}<D_{90}$
Uniforme, non coesivo ($D_{60}/D_{10}<5$)	$O_{90}< 2,5\ D_{50}$	$O_{90}< D_{90}$
Ben assortito, non coesivo ($D_{60}/D_{10}>5$)	$O_{90}<10\ D_{50}$	$O_{90}<D_{90}$
Poco coesivo o non coesivo e >50% del peso di argilla	$O_{90}<200\mu m$	

Per rispettare invece il criterio di permeabilità, il geotessile dovrà soddisfare il seguente criterio:

$$k_g>5k_s$$

dove:

k_g: permeabilità del geotessile (m/s)

k_s: permeabilità del materiale sottostante il geotessile (m/s)

5.5. Dimensionamento del materasso in calcestruzzo

5.5.1. Verifica della stabilità del materasso

La stabilità della protezione del fondale e delle scarpate del rilevato di imbasamento dei cassoni in materassi riempiti di cls va verificata prendendo in considerazione sia le azioni dovute alle onde di progetto (aventi Tr=250 anni come definito nel par. 5.2) che quelle dovute alle eliche (par. 5.1).

La stabilità del materasso soggetto all'azione del moto ondoso viene verificata con riferimento alle velocità orbitali generate dalle onde sul fondo.

La stabilità del materasso sottoposto all'azione delle eliche, come indicato nella pubblicazione "Berth Scour Protection for Modern Vessels", Hawkswood et al, PIANC World Congress 2014, viene verificata con riferimento alle sottopressioni indotta dalle eliche sulla superficie dello stesso. Questa grandezza è funzione sia della velocità del flusso uscente dalle eliche e quindi dalle modalità di utilizzo delle eliche durante le manovre di disormeggio (par.5.1), che del rapporto tra la profondità del fondale e il pescaggio della nave di progetto.

5.5.2. Spessore minimo dei materassi

Lo spessore dei materassi riempiti di calcestruzzo è stato valutato in relazione ai carichi idrodinamici indotti dall'azione delle onde e dall'effettto dei propulsori delle navi durante le fasi di disormeggio dalle banchine.

Si è tuttavia considerato che il materasso, quando posato in zone dragate, deve avere uno spessore minimo di 200 mm, per essere in grado di resistere alle azioni meccaniche provocate dagli utensili necessari per eseguire gli interventi atti a mantenere i fondali in prossimità delle banchine.

5.5.3. Permeabilità e porosità del materasso

Il materasso, quando posato su materiale granulare, deve essere in grado di sfogare le sottopressioni che si possono generare all'interno del materiale di imbasamento per effetto dei moti di filtrazione.

A questo scopo è opportuno dotare il materasso di un'opportuna maglia di fori laddove esso venga posato su materiale granulare. I fori dovranno avere una dimensione tale anche da impedire la perdita di fini del materiale di imbasamento. A questo scopo il diametro Ø dei fori deve rispettare i criteri riportati in Tab. 5.8:

TAB. 5.9 - CRITERIO PER LA DEFINIZIONE DIAMETRO Ø DEI FORI DEL MATERASSO

Terreno		
Coesivo	Ø<10 D50	Ø <D90
Uniforme, non coesivo (D60/D10<5)	Ø < 2,5 D50	Ø < D90
Ben assortito, non coesivo (D60/D10>5)	Ø <10 D50	Ø <D90
Poco coesivo o non coesivo e >50% del peso di argilla	Ø <200µm	

5.6. Peso specifico dei materiali da costruzione

Per il dimensionamento della protezione dei fondali presentato nei capitoli seguenti si è fatto riferimento ai seguenti pesi specifici dei materiali di costruzione:

– per i massi naturali 2600 kg/m^3
– per i materassi riempiti di calcestruzzo 2400 kg/m^3

Il peso specifico dell'acqua di mare è stato definito pari a 1030 kg/m^3.

6. DESCRIZIONE DELLA SOLUZIONE PER LA PROTEZIONE DEI FONDALI

6.1. Dragaggi

Nel progetto definitivo per la realizzazione della piastra multifunzionale era prevista l'esecuzione di attività di dragaggio per circa 430.000 metri cubi. Dopo la consegna del progetto definitivo sono stati condotti approfondimenti in merito alla definizione delle aree di manovra per una navigazione in sicurezza in fase di accosto alle banchine e in fase di partenza, mediante l'uso di un modello 'real time' di navigazione presso il laboratorio del CETENA. Queste analisi (per i dettagli si rimanda al rapporto del CETENA allegato al progetto) insieme a numerose discussioni ed incontri con i piloti del Porto di Savona, Capitaneria di Porto e terminalisti hanno consentito di definire le aree di dragaggio indicate nella Fig. 6.1.

Le aree e le quote di dragaggio sono state riviste anche a seguito della modifica della protezione dei fondali, con particolare riferimento a quella in corrispondenza dei fondali al piede delle banchine.

Le modifiche apportate ai dragaggi sono stati effettuati anche nell'ottica di ridurre per quanto possibile i volumi complessivi (come implicitamente raccomandato nel parere della Regione Liguria del 27 agosto 2009 nel momento in cui veniva richiesto di ruotare la piattaforma con il fine di ridurre i volumi di dragaggio) ed a tal fine tenendo conto delle modifiche apportate alla soluzione del definitivo si è ottenuto un quantitativo inferiore pari a 400.000 metri cubi.

Come osservabile dalla Fig. 6.1 e dalle tavole di progetto cui si rimanda per maggiori dettagli, le attività di dragaggio sono necessarie per:

– l'imbasamento dei cassoni della banchina del terminal container. Le quote d'imbasamento sono pari a -18,5 m s.l.m.m. ed a -19,5 m s.l.m.m.. Il volume è pari a 158.627 m^3;

- l'imbasamento dei cassoni della banchina delle compagnie petrolifere. Le quote d'imbasamento sono pari a -15 m s.l.m.m. ed a -16 m s.l.m.m. Il volume è pari a 44.236 m^3;
- l'imbasamento dei cassoni della banchina della Terminal Rinfuse (banchina in testata alla piastra). Le quote d'imbasamento sono pari a -18,5 m s.l.m.m. ed a -19,5 m s.l.m.m . Il volume è pari a 13.490 m^3;
- l'imbasamento dei cassoni reggispinta. La quota d'imbasamento è pari a -12,5 m s.l.m.m. . Il volume è pari a 7.890 m^3;
- disporre dell'area di manovra (a quota -15,0 m s.l.m.m) per la banchina del terminal container. Il volume è pari a 72.735 m^3;
- disporre dell'area di manovra (a quota -12,0 m s.l.m.m) per la banchina delle compagnie petrolifere. Il volume è pari a 15.719 m^3;
- disporre dell'area di manovra (a quota -16,25 m s.l.m.m) per la banchina della Terminal Rinfuse. Il volume è pari a 575 m^3;
- per imbasare la protezione dei fondali per la banchina del terminal container. Il volume è pari a 58.365 m^3;
- per imbasare la protezione dei fondali per la banchina delle compagnie petrolifere e la banchina rinfuse. Il volume è pari a 23.501 m^3.

Le attività di dragaggio saranno condotte con l'utilizzo della tecnologia tipo "Ecograb". Si tratta di una benna bivalve con meccanismo di chiusura a comando oleodinamico, o articolato con insieme di pulegge e cavi sistema, che consente, ad ogni utilizzo, il recupero dell'80% di sedimento e del 20% di acqua solamente.

Il particolare meccanismo di chiusura consente, rispetto al tradizionale grappo, di ridurre la dispersione di particelle fini in sospensione (torbidità), mentre i ridotto volume di acqua consente di accelerare/garantire il processo di consolidamento del materiale depositato e di minimizzare la quantità di acqua eventualmente da trattare.

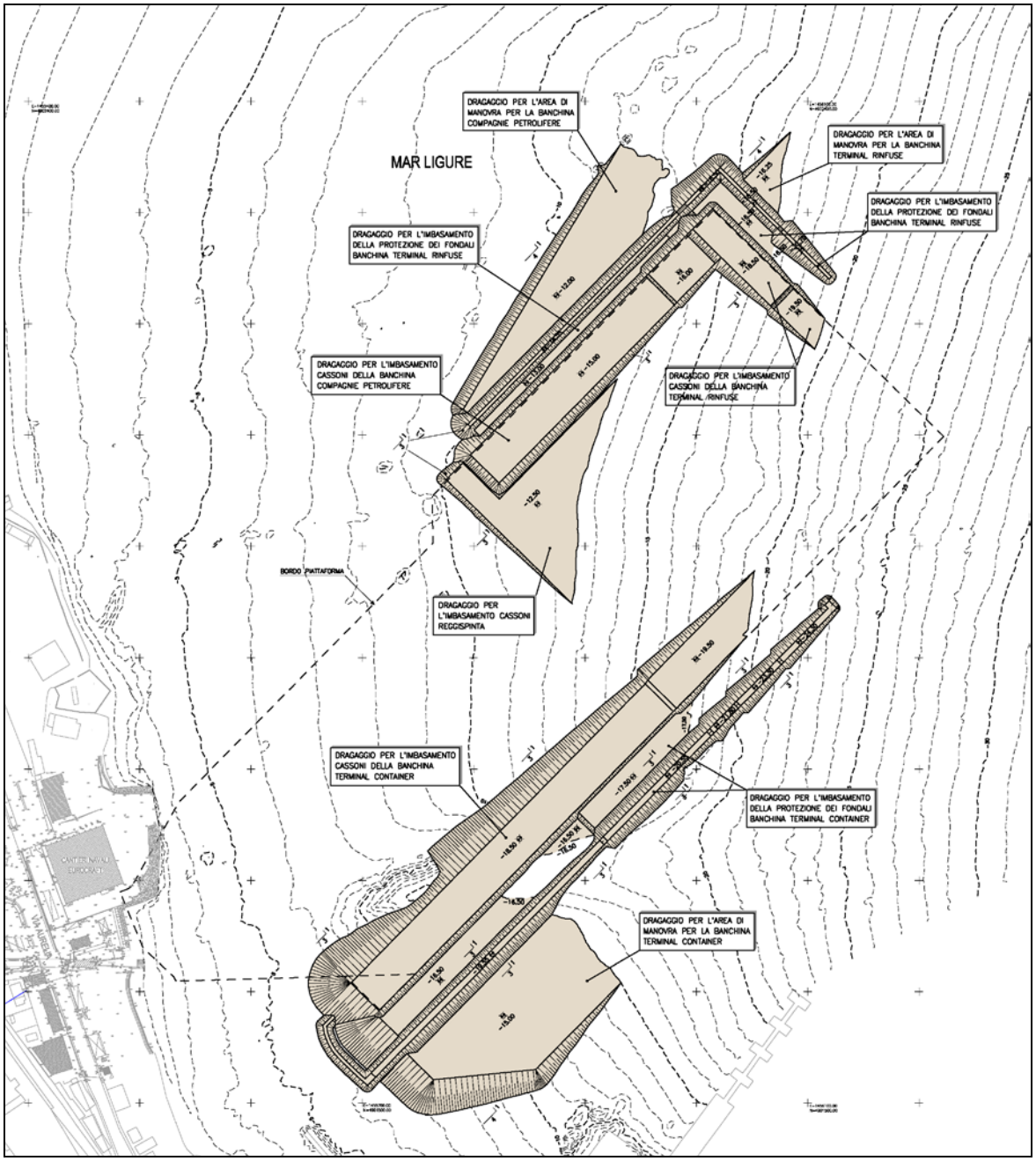


FIG. 6.1 - AREE DI DRAGAGGIO

6.2. Protezione dei fondali

6.2.1. Protezione dei fondali antistanti le banchine

Per la protezione dei fondali antistanti le banchine sono state adottate due tipologie di soluzioni: materassi riempiti di calcestruzzo e massi naturali (vedi planimetria in Fig. 6.2).

I materassi riempiti di calcestruzzo sono stati previsti nella zone sollecitate maggiormente dalle azioni idrodinamiche o dove si è ritenuto opportuno ridurre i volumi di dragaggio, visto lo spessore limitato dei materassi in calcestruzzo (spessore =0,25 m) rispetto alla protezione in scogli (spessore=2,5-3 m).

Nei paragrafi seguenti è presentata la protezione dei fondali in relazione a ciascuna banchina: container, rinfuse e petroli.

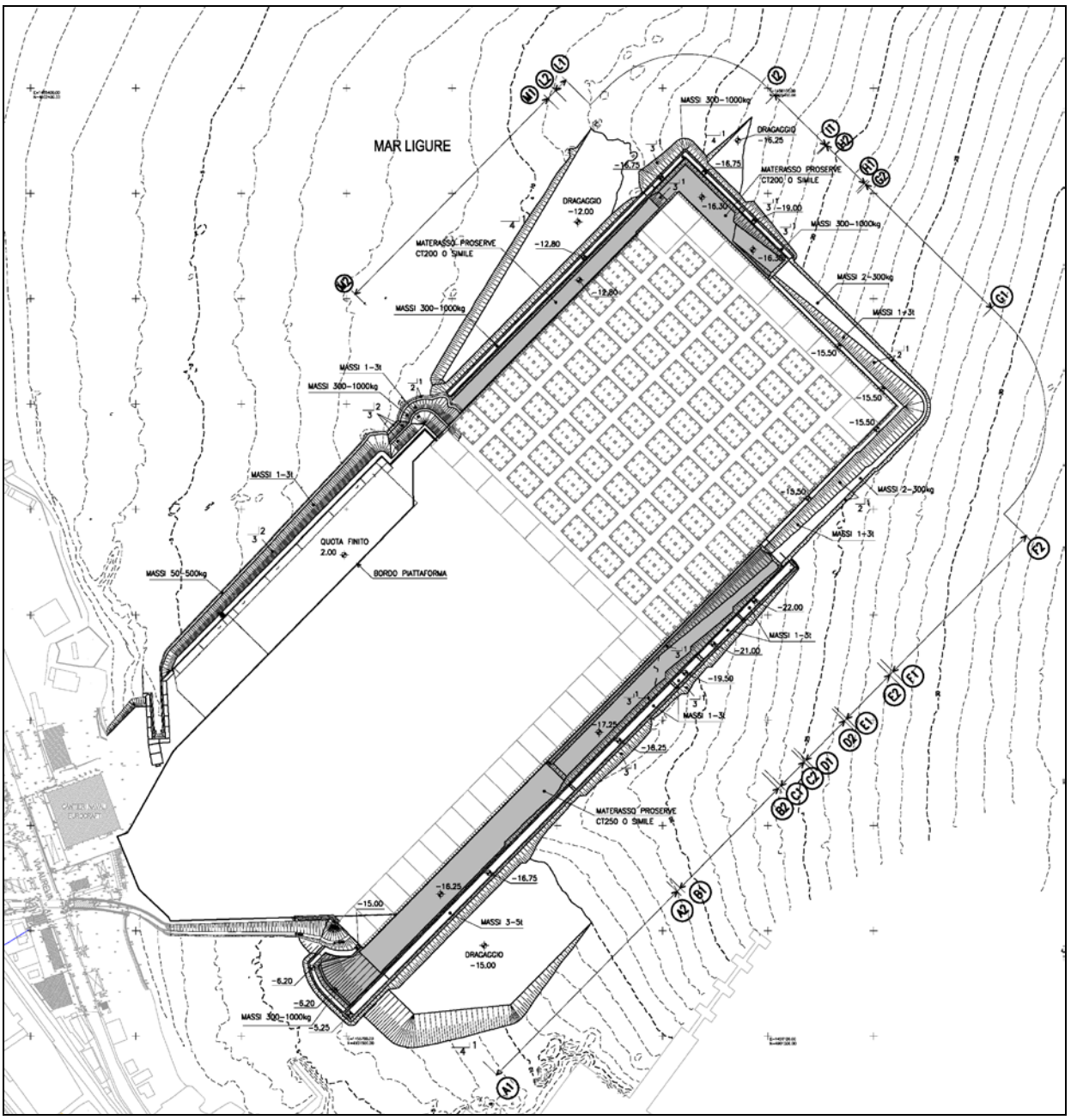


FIG. 6.2 - PLANIMETRIA DELLA PROTEZIONE DEI FONDALI ANTISTANTI LE BANCHINE

Banchina Container

Con riferimento alle tipologie costruttive adottate per la protezione del fondale la banchina container può essere suddivisa in due tratti:

- il primo tratto che si estende per 520 m dalla radice della piattaforma (sez. A1) verso mare fino alla sezione E2, particolarmente interessato dall'azione idrodinamica indotta dalle eliche principali delle navi, dove viene proposta una soluzione in materassi riempiti di calcestruzzo;
- il secondo tratto di estensione 220 m, dalla sezione F1 alla sezione F2, lungo il quale la scarpata del rilevato di imbasamento dei cassoni e il fondale antistante viene protetto da massi naturali.

Il primo tratto (dalla sezione A1 alla E2) prevede un materasso riempito di cls di spessore medio 250 mm, tipo Proserve "constant thickness" (CT) o similare. La larghezza totale della protezione è di circa 40 m, superiore a metà della larghezza della nave, come raccomandato dal PIANC. In Fig. 6.3 è riportata una delle sezioni trasversali rappresentativa della tipologia costruttiva. Si rimanda per i dettagli agli elaborati grafici di progetto.

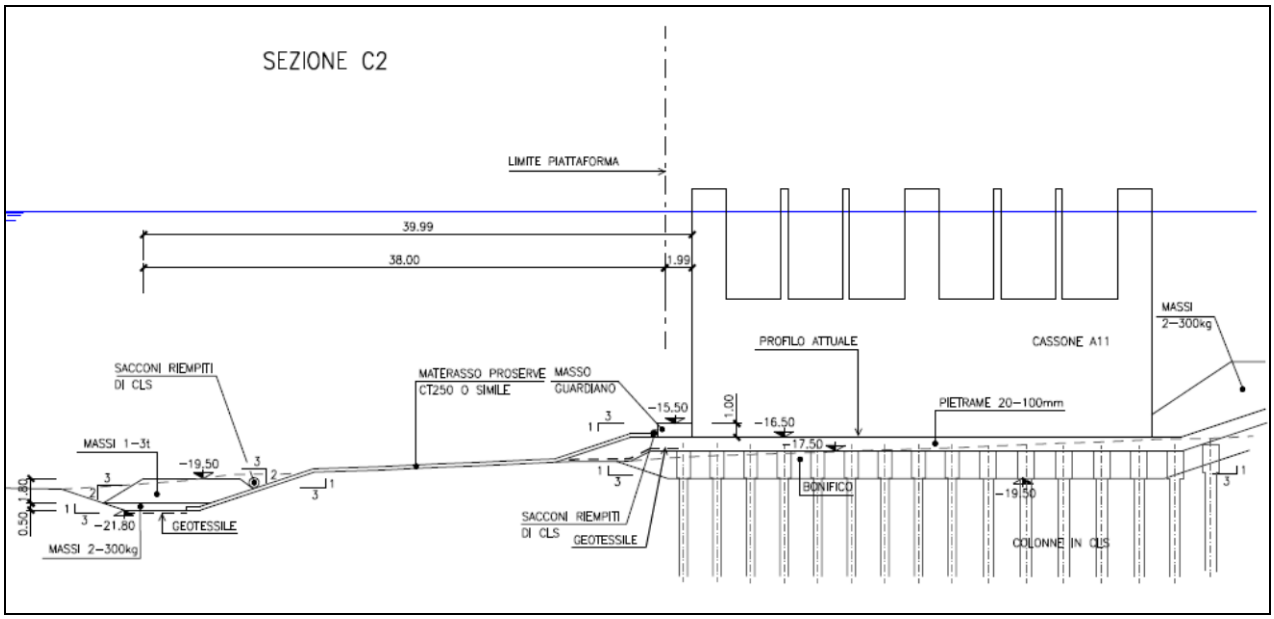


FIG. 6.3 - PROTEZIONE DEI FONDALI IN MATERASSI DI CLS NEL TRATTO DI BANCHINA CONTAINER - SEZIONE TIPO

Il materasso in calcestruzzo è dotato di fori (90 mm Ø, ogni 1.5 m nel primo metro di larghezza della protezione e ogni 2.3 m dopo il primo metro), per lo sfogo delle sottospinte nel tratto più vicino ai cassoni, dove il materasso viene posato su materiale granulare ad elevata permeabilità (pietrame 20-100 mm, Fig. 6.4).

Il materasso viene bloccato contro il masso guardiano in c.a. (tipo 1: B x H x h = 3,0 x 2,5 x 0,8 m tra la sez. A1 e la sez. C1; tipo 2: B x H x h = 3,0 x 2,5 x 1,0 m tra la sez. C2 e la sez. E2) posto al piede del cassone di banchina, da un saccone in cls (sezione di dimensione 0,75x0,50 m^2 per masso tipo 1 e 1,0x0,60 m^2 per masso tipo 2; Fig. 6.4) e ancorato lato mare con massi naturali di pezzatura 3000-5000 kg o 1000-3000 kg in funzione del fondale e l'azione delle eliche, posati all'interno di una trincea su di uno strato filtro in 2-300 kg di 0,5 m e geotessuto.

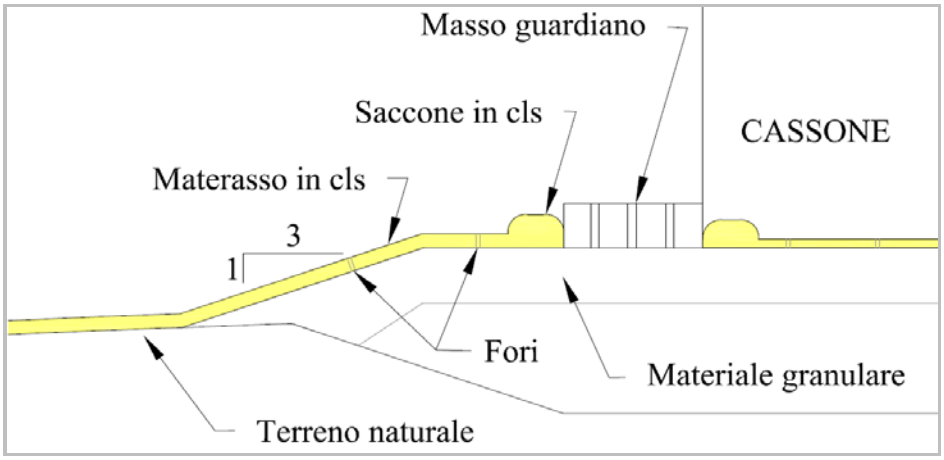


FIG. 6.4 - PARTICOLARE DEL FISSAGGIO DEL MATERASSO CONTRO IL MASSO GUARDIANO PER MEZZO DI SACCONE IN CLS

Per impedire che per effetto delle correnti generate dai propulsori della nave di progetto i massi rotolino al di fuori della trincea, compromettendo la stabilità del materasso e limitando il franco di sicurezza sottochiglia delle navi, si prevede la messa in opera, lungo tutta la trincea, di un saccone di cls (sezione trasversale di 1,23 m^2 nel caso di massi 3000-5000 kg e 0,95 m^2 per massi 1000-3000 kg) come mostrato in Fig. 6.5 .

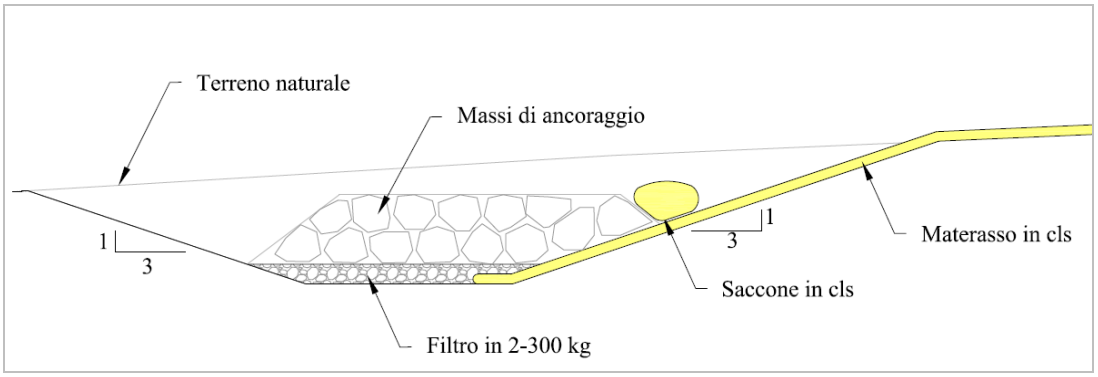


FIG. 6.5 - PARTICOLARE DELL'ANCORAGGIO DEL MATERASSO LATO MARE PER MEZZO DI MASSI NATURALI E SACCONE IN CLS

Si prevede inoltre di proteggere la scarpata del dragaggio nella zona immediatamente retrostante l'accosto container verso terra, essendo i fondali di questa zona sollecitati dalle correnti indotte dai propulsori delle navi, specialmente durante la fase di disormeggio. La protezione è caratterizzata sempre da materassi in calcestruzzo di spessore medio 250 mm, ancorati lungo la scarpata da massi naturali di pezzatura 1000-3000 kg posati in trincea e in sommità alla scarpata da massi naturali di pezzatura 300-1000 kg anche questi posati in trincea.

Nel secondo tratto della banchina container (dalla sezione tipo F1 alla F2) si prevede una protezione in massi naturali (vedi sezione tipo in Fig. 6.6). Viene protetta la scarpata (pendenza ½) del rilevato di imbasamento dei cassoni con una scogliera in doppio strato di massi naturali di pezzatura 1000-3000 kg e i fondali antistanti con massi naturali di pezzatura 2-300 kg posati su geotessuto. Lungo questo tratto i massi guardiani posti al piede dei cassoni sono del tipo 2 (B x H x h = 3,0 x 2,5 x 1,0 m) tranne che in corrispondenza dello spigolo della piattaforma dove, per contrastare la maggiore azione delle onde incidenti si adottano i massi di tipo 3 (B x H x h = 4,0 x 2,5 x 1,2 m).

Lungo il tratto in scogliera la larghezza totale della protezione è di circa 28 m, in modo da proteggere una fascia pari ad almeno ¼ della lunghezza dell'onda di progetto incidente.

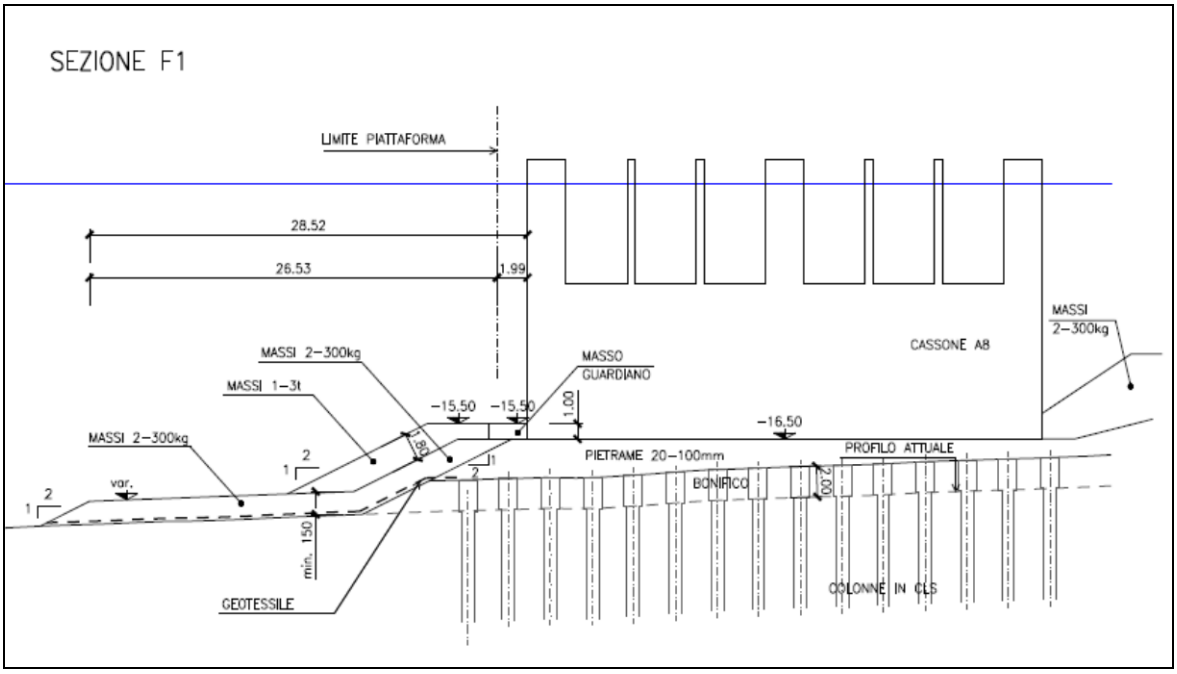


FIG. 6.6 - PROTEZIONE DEI FONDALI IN MASSI NATURALI NEL TRATTO DI BANCHINA CONTAINER - SEZIONE TIPO

Banchina Rinfuse

Con riferimento alle tipologie costruttive adottate per la protezione del fondale anche la banchina rinfuse può essere suddivisa in due tratti:

- il primo tratto che si estende dallo spigolo lato levante (sez. G1) alla sezione G2 per 180 m, lungo il quale la scarpata del rilevato di imbasamento dei cassoni e i fondali antistanti vengono protetti da una scogliera in massi naturali;
- il secondo tratto che si estende dalla sezione H1 alla sezione I2 per 120 m, dove viene proposta una soluzione in materassi riempiti di calcestruzzo.

Lungo il primo tratto della banchina rinfuse (dalla sezione tipo G1 alla G2) si prevede di proteggere la scarpata (pendenza ½) del rilevato di imbasamento dei cassoni con una scogliera in doppio strato di massi naturali di pezzatura 1000-3000 kg e i fondali antistanti con massi naturali di pezzatura 2-300 kg posati su geotessuto (vedi Fig. 6.7) . Lungo questo tratto i massi guardiani posti al piede dei cas-

soni sono del tipo 2 (B x H x h = 3,0 x 2,5 x 0,8 m) tranne che in corrispondenza dello spigolo della piattaforma dove, per contrastare l'azione delle maggiori onde incidenti si adottano i massi di tipo 3 (B x H x h = 4,0 x 2,5 x 1,2 m).

Lungo il tratto in scogliera la larghezza totale della protezione è di circa 28 m, in modo da proteggere una fascia pari ad almeno ¼ della lunghezza dell'onda di progetto incidente.

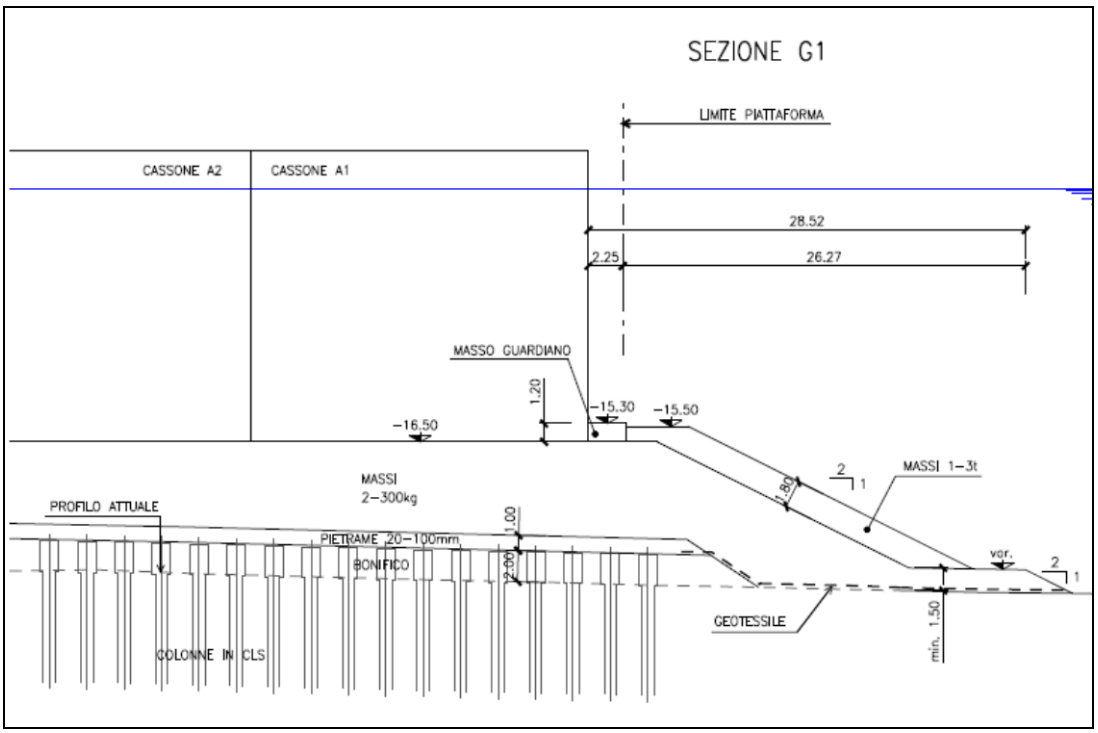


FIG. 6.7 - PROTEZIONE DEI FONDALI IN SCOGLI NEL TRATTO DI BANCHINA RINFUSE - SEZIONE TIPO

Il secondo tratto (dalla sezione tipo G1 alla G2) prevede come protezione un materasso in cls di spessore medio 200 mm, tipo Proserve "constant thickness" (CT) o similare, dotato di fori (Ø 90 mm, ogni 1,5 m nel primo metro di larghezza della protezione e ogni 2,3 m dopo il primo metro) per lo sfogo delle sottopressioni nella fascia più vicina ai cassoni, dove il materasso viene posato su materiale granulare ad elevata permeabilità (pietrame 20-100 mm, vedi Fig. 6.8).

La larghezza totale della protezione in questo secondo tratto è di circa 34 m, in modo da proteggere una fascia pari ad almeno ¼ della lunghezza dell'onda di progetto incidente.

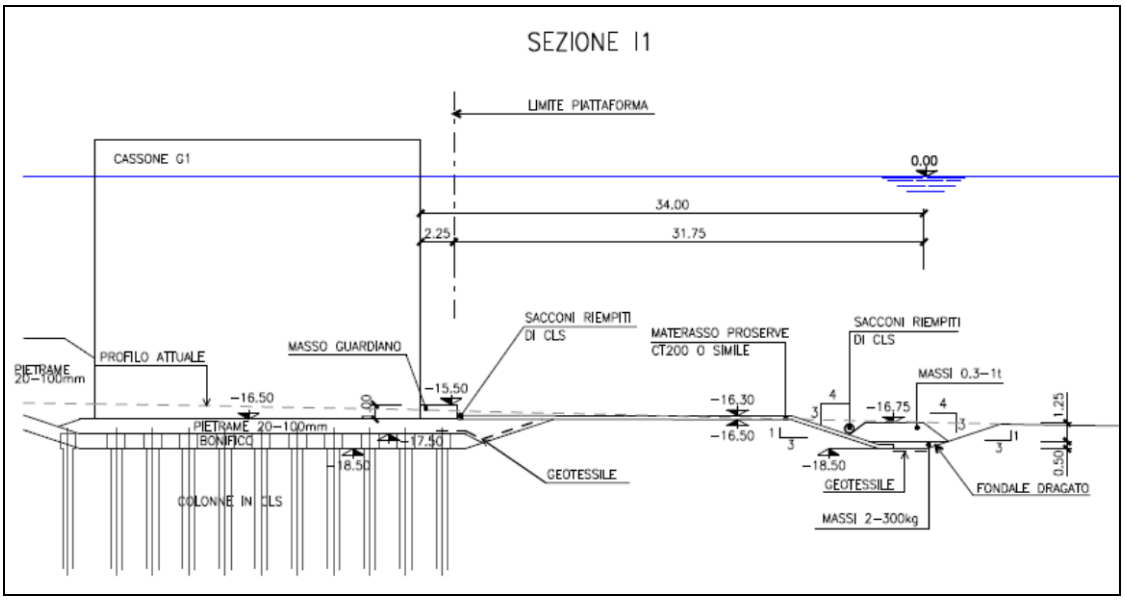


FIG. 6.8 - PROTEZIONE DEI FONDALI IN MATERASSI IN CLS NEL TRATTO DI BANCHINA RINFUSE - SEZIONE TIPO

Il materasso viene bloccato contro il masso guardiano in cls (tipo 2: B x H x h = 3,0 x 2,5 x 1,0 m) posto al piede del cassone di banchina da un saccone in cls (sezione di dimensione 1,0x0,60 m^2) e ancorato lato mare con massi naturali di pezzatura 300-1000 kg, posati all'interno di una trincea su di uno strato filtro in 2-300 kg di 0,5 m posato su geotessuto. Per impedire che per effetto delle onde i massi rotolino al di fuori della trincea, compromettendo la stabilità del materasso e limitando il franco di sicurezza sottochiglia delle navi, si prevede la messa in opera, lungo tutta la trincea, di un saccone in cls avente sezione trasversale di 0.50 m^2.

Nonostante questo tratto non sia soggetto all'azione delle eliche delle navi, si è comunque scelto di utilizzare la soluzione in materassi di spessore 0,20 m, al fine

di limitare i volumi di dragaggio che invece sarebbero stati necessari nel caso di protezione in scogli di spessore pari ad almeno 2,5 m, questo al fine di garantire la quota di progetto funzionale all'accosto della nave in banchina.

Banchina Petroli

La protezione del fondale lungo tutta la banchina petroli prevede un'unica tipologia costruttiva (vedi Fig. 6.9): materasso in cls di spessore medio 200 mm, tipo Proserve "constant thickness" (CT) o simile, dotato di fori (Ø 90 mm, ogni 1,5 m nel primo metro di larghezza della protezione e ogni 2,3 m dopo il primo metro), per lo sfogo delle sottopressioni nella fascia più vicina ai cassoni, dove il materasso viene posato su materiale granulare (pietrame 20-100 mm).
La larghezza totale della protezione è di circa 24 m, superiore a metà della larghezza della nave di progetto, come raccomandato dal PIANC.

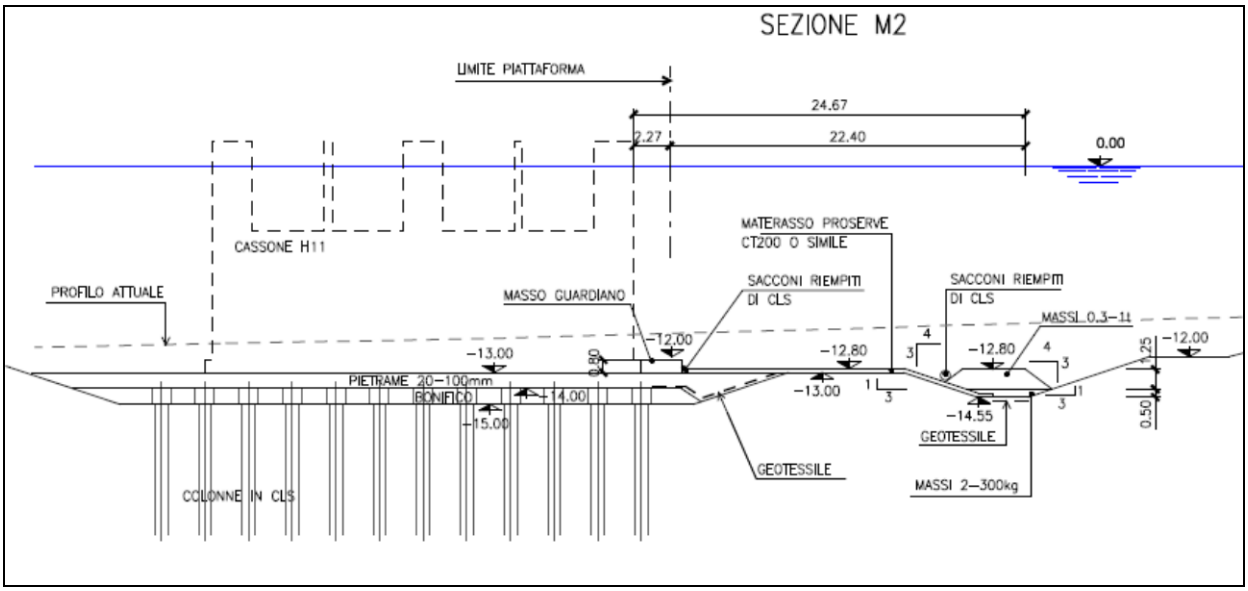


FIG. 6.9 - PROTEZIONE DEI FONDALI IN MATERASSI IN CLS NEL TRATTO DI BANCHINA PETROLI - SEZIONE TIPO

Il materasso viene bloccato contro il masso guardiano in cls (tipo 1: B x H x h = 3,0 x 2,5 x 0,8 m) posto al piede del cassone di banchina da un saccone in cls (sezione di dimensione 0,75x0,50 m^2) e ancorato lato mare con massi naturali di pez-

zatura 300-1000 kg, posati all'interno di una trincea su di uno strato filtro in 2-300 kg di 0,5 m. Per impedire che per effetto delle correnti generate dalle eliche i massi rotolino al di fuori della trincea, compromettendo la stabilità del materasso e limitando il franco sottochiglia, si prevede la messa in opera, lungo tutta la trincea, di un saccone il cls avente sezione trasversale di 0,50 m^2.
A sud la protezione dei fondali si interrompe in corrrispondenza della scogliera di chiusura della cassa di colmata avente pendenza ½ e realizzata in massi naturali di pezzatura 1000-3000 kg nella parte superiore e 300-1000 kg nella parte inferiore.

6.2.2. Protezione dei fondali dei varchi tra i cassoni sotto l'impalcato

Nella zona a giorno della piattaforma sono state previste due tipologie di protezione del fondale:

- una protezione in materassi riempiti di calcestruzzo in corrispondenza dei varchi tra le file più esterne di cassoni, sia lungo il lato della banchina container che lungo il lato della banchina petroli. I varchi più esterni sono infatti maggiormente sollecitati dalle azioni idrodinamiche indotte dalle eliche delle navi e dal moto ondoso.
- una protezione in scogli di pezzatura 2-300 kg (almeno 1 m di spessore) laddove il materiale che costituisce il fondale dei varchi tra i cassoni è costituito da pietrame 20-100 mm. Infatti una parte degli scanni d'imbasamento dei cassoni e dei varchi sono costituiti da scogli 2-300 kg e la restante parte da pietrame 20-100 mm che non è stabile principalmente per effetto dell'azione delle onde che si propagano tra i varchi dei cassoni.

Nella planimetria di Fig. 6.10 è presentata la protezione dei fondali sotto la piattaforma con riferimento alle diverse tipologie adottate.

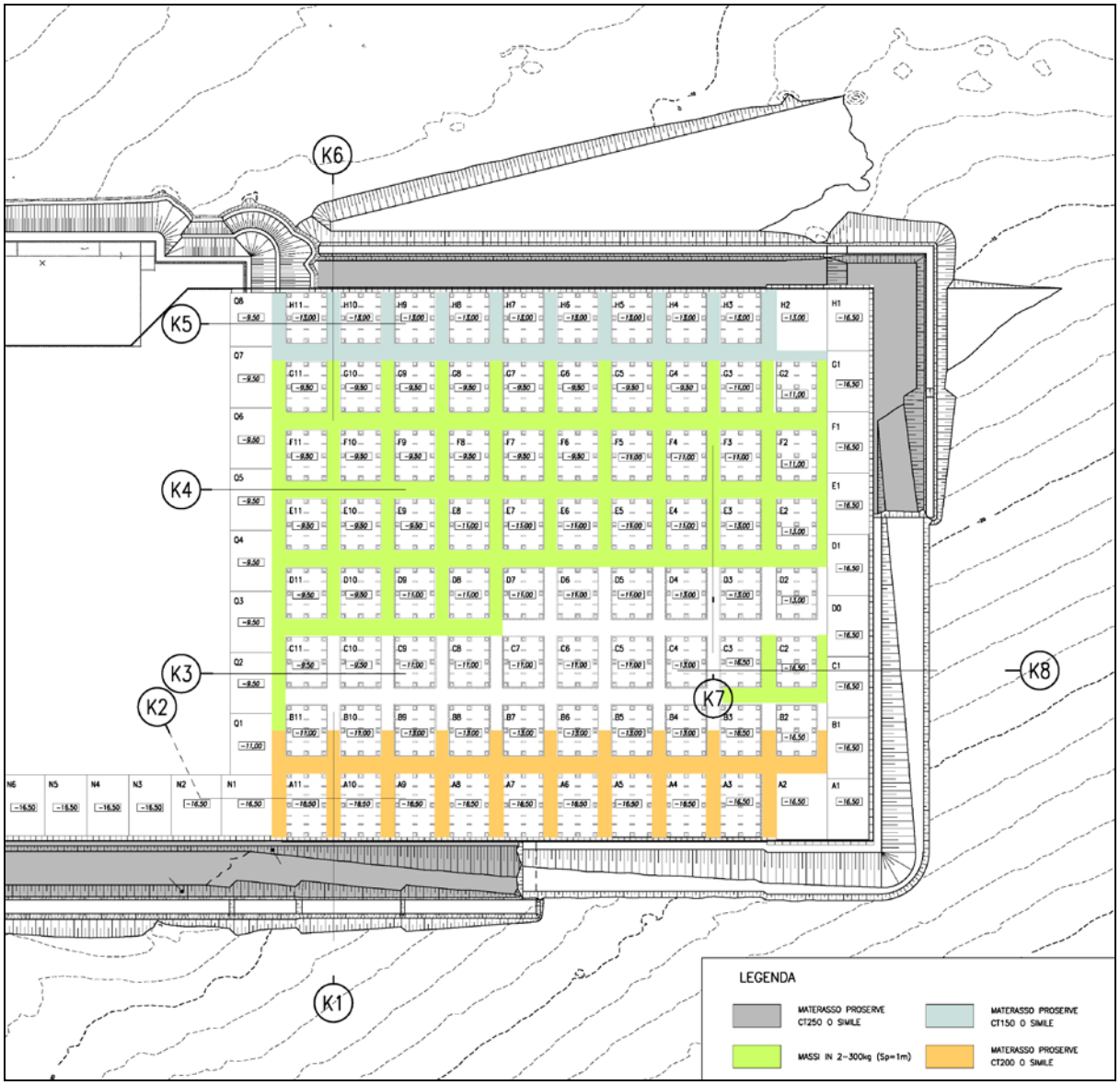


FIG. 6.10 - PLANIMETRIA DELLA PROTEZIONE DEI FONDALI SOTTO LA PIATTAFORMA

Per la protezione sotto la piattaforma in corrispondenza del lato della banchina container si prevede di adottare un materasso in calcestruzzo di spessore medio 200 mm, tipo Proserve "constant thickness" (CT) o similare, dotato di fori per lo sfogo delle sottopressioni dovute ad eventuali moti di filtrazione attraverso il ma-

teriale granulare su cui sono posati i materassi. I fori, sono disposti su tre file parallele ai lati dei cassoni.

Per la protezione sotto la piattaforma in corrispondenza del lato della banchina petroli si prevede invece di adottare un materasso in calcestruzzo di spessore medio 150 mm, tipo Proserve “constant thickness” (CT) o similare, anche questo dotato di fori per lo sfogo delle sottopressioni dovute ad eventuali moti di filtrazione attraverso il materiale granulare su cui sono posati i materassi. I fori, sono disposti su tre file parallele ai lati dei cassoni, con interasse longitudinale di 3 m.

Entrambe le tipologie di materassi descritte sono ancorate nella zona più interna alla piattaforma con una berma in doppio strato di massi naturali aventi pezzatura 300-1000 kg.

Lungo il lembo lato banchina, il materasso viene bloccato contro il masso guardiano in cls (tipo 1: B x H x h = 3,0 x 2,5 x 0,8 m per la banchina petroli e tipo 2: B x H x h = 3,0 x 2,5 x 1,0 m) posto lungo in varchi tra i cassoni, da un saccone in cls (sezione di dimensione 0.75x0.50 m^2 per il materasso lato petroli e sezione di dimensione 1,0x0,60 m^2 per il materasso lato container).

Nelle Fig. 6.11 e Fig. 6.12 e sono riportate due sezioni rappresentative della protezione del fondale al di sotto della piattaforma relativamente alle file più esterne dei varchi tra i cassoni, rispettivamente per il lato della banchina container e per il lato della banchina petroli.

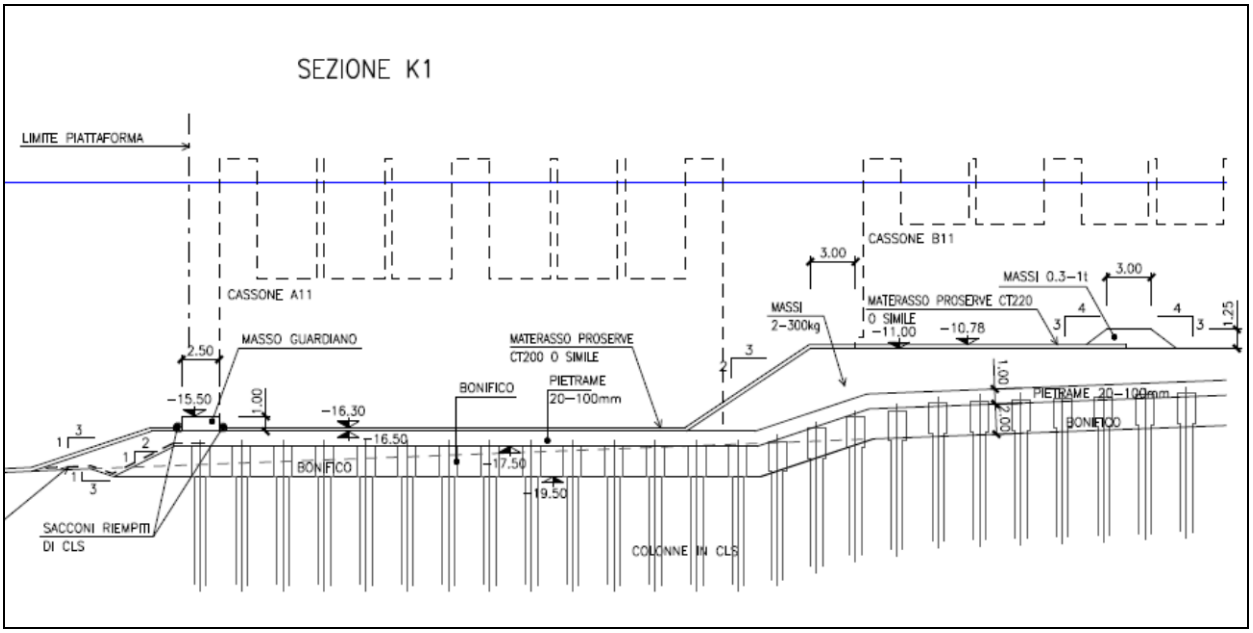


FIG. 6.11 - PROTEZIONE DEI FONDALI SOTTO LA PIATTAFORMA VICINO ALLA BANCHINA CONTAINER - SEZIONE TIPO

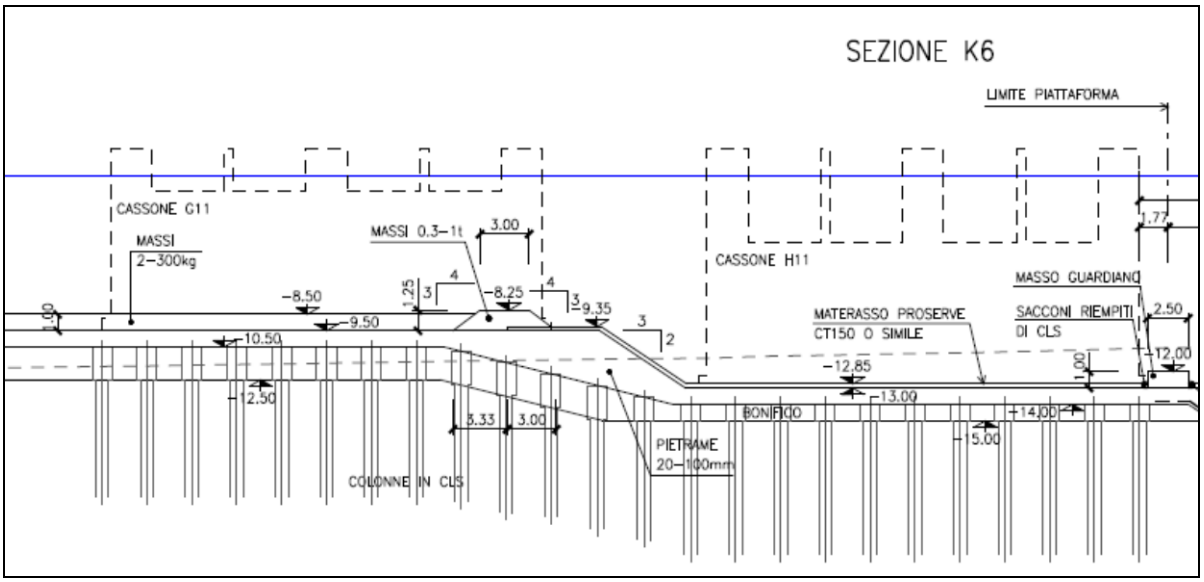


FIG. 6.12 - PROTEZIONE DEI FONDALI SOTTO LA PIATTAFORMA VICINO ALLA BANCHINA PETROLI - SEZIONE TIPO

Riguardo ai fondali della piattaforma costituiti da pietrame 20-100 mm, che costituisce anche l'imbasamento dei cassoni, è prevista una protezione in scogli 2-300 kg di spessore pari ad almeno 1 m (si veda l'area verde indicata in Fig. 6.10).

In Fig. 6.13 è riportata una sezione rappresentativa di questa situazione in un'area in prossimità dei cassoni reggispinta del terrapieno.

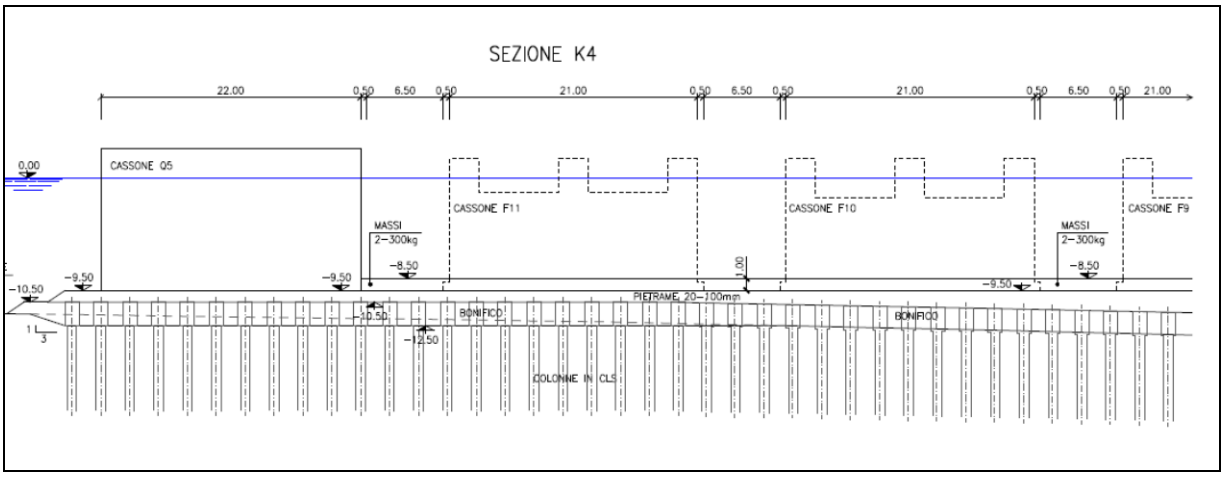


FIG. 6.13 - PROTEZIONE SOTTO LA PIATTAFORMA DOVE I FONDALI SONO COSTITUITI DA PIETRAME 20-100 MM- SEZIONE TIPO

7. CARICHI DI PROGETTO

Per il dimensionamento della opere di protezione della fondazione dei cassoni e dei fondali al piede degli stessi vanno considerate le seguenti due forzanti idrodinamiche:

– l'azione del moto ondoso sulle strutture di banchina e sotto la piattaforma;
– l'azione delle eliche principali e trasversali delle navi nell'ambito delle manovre in prossimità delle strutture di banchina.

Di seguito sono riportate le onde di progetto in corrispondenza delle opere e i carichi indotti dalle eliche delle navi di progetto.

7.1. Azione del moto ondoso

7.1.1. Parametri caratteristici delle onde e azioni indotte davanti alle banchine

Le onde di progetto nell'area della piattaforma sono presentate in dettaglio nella Relazione Meteomarina del presente Progetto Esecutivo. Per quanto concerne le opere a protezione del fondale si assume come onda di progetto quella caratterizzata da un tempo di ritorno di 250 anni, come definito nel par. 5.2. Per il dimensionamento della protezione del fondale antistante le banchine, si riportano in Tab. 7.1 i valori delle onde incidenti.

TAB. 7.1 - ONDE DI PROGETTO INCIDENTI LA PIATTAFORMA, TR=250 ANNI

Onda al largo	**Onde incidenti le banchine**											
	Container tratto in cassoni reggispinta			**Container** tratto in cassoni sommersi			**rinfuse**			**petroli**		
Dir	T_p	β	*Hs*		β	*Hs*	T_p	β	*Hs*	T_p	β	*Hs*
(°N)	*(s)*	*(°)*	*(m)*		*(°)*	*(m)*	*(s)*	*(°)*	*(m)*	*(s)*	*(°)*	*(m)*
30	-	-	-		-	-	-	-	-	**3,5**	**65**	**1,65**
70	**9,8**	**50**	**2,5**	**9,8**	**53**	**5,0**	9,8	36	4,0	-	-	-
80	9,8	46	1,5	9,8	45	4,6	9,8	44	4,0	-	-	-
90	9,8	45	1,0	9,8	36	3,7	**9,8**	**52**	**4,4**	-	-	-
105	11,6	40	1,0	11,6	35	2,7	**11,6**	**64**	**4,4**	-	-	-

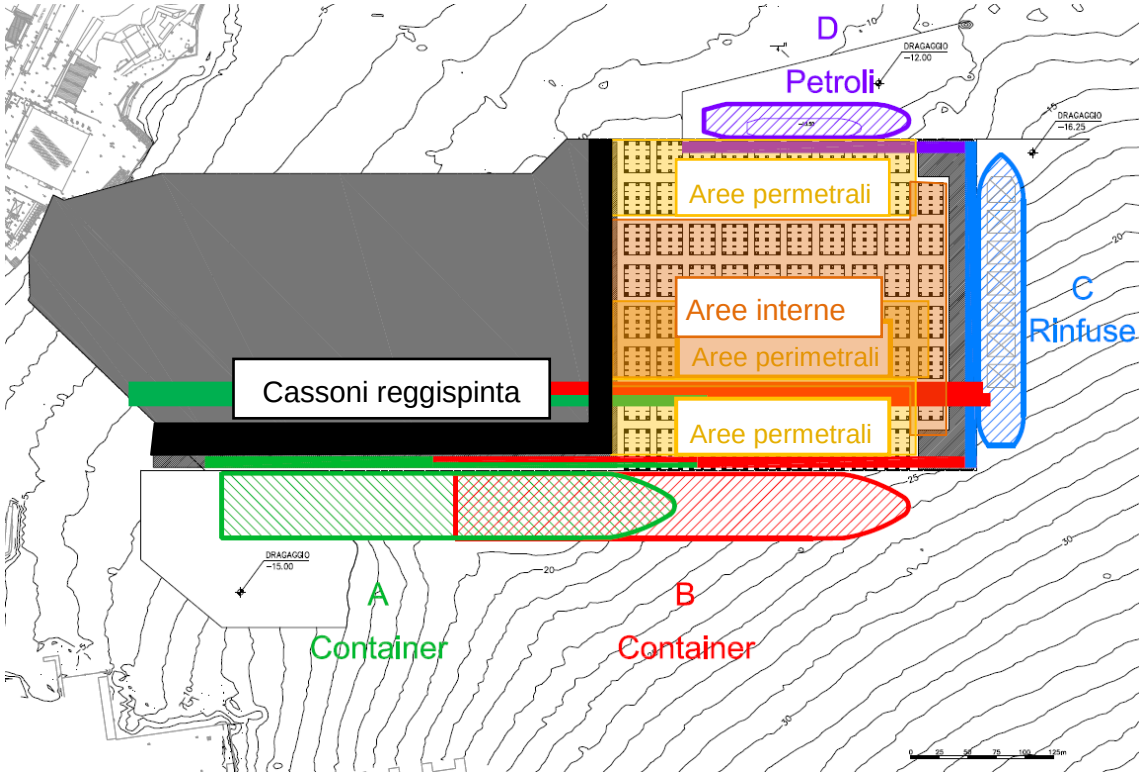


FIG. 7.1 - TRATTI DI BANCHINA CUI SI È FATTO RIFERIMENTO PER LA VALUTAZIONE DELLE ONDE DI PROGETTO

Per le zone antistanti le banchine, l'azione dell'onda di progetto può essere intesa anche in termini di velocità orbitale indotta sul fondo. Nota l'altezza d'onda di progetto davanti alle opere la velocità orbitale di picco sul fondo è data dalla relazione:

$$U_b = \frac{\pi \cdot H_{s,tot}}{T_p} \frac{1}{\sinh(\frac{2\pi h}{L_h})}$$

dove:

$H_{s,tot}$: altezza d'onda totale;

T_p: periodo d'onda significativo;

h: profondità del fondale, calcolata assumendo 0,15 m di bassa marea;

L_h: lunghezza d'onda al piede dell'opera.

Si osserva che nel calcolo si è utilizzata l'onda totale antistante la banchina per la stima della quale sono stati utilizzati diversi coefficienti di riflessione a seconda della tipologia costruttiva della banchina di progetto (Tab. 7.2).

TAB. 7.2 - COEFFICIENTI DI RIFLESSIONE PER LE BANCHINE DI PROGETTO

Tipologia costruttiva	Coefficiente di riflessione, C_r
Cassioni emersi	0,9
Cassoni sommersi	0,7

Nei calcoli si è inoltre considerata a favore della sicurezza una bassa marea di -0,15 m s.l.m.m., rappresentativa della media delle basse maree sizigiali (Mean Lower Water Spring, MLWS) desunta da "Admiralty Tide Tables" per la località di Genova. In Tab. 7.3 vengono presentati i valori di progetto per le velocità orbitali in corrispondenza dei fondali relativi ai vari tratti di banchina.

TAB. 7.3 - VALORI DI PROGETTO DELLE VELOCITÀ ORBITALI SUL FONDO INDOTTE DAL MOTO ONDOSO NELLA ZONA ANTISTANTE LE BANCHINE

	T_p	β	$H_{s,i}$	C_r	$H_{s,tot}$	h	L_h	U_{orbit}
Sezioni	(s)	(°)	(m)	(-)	(m)	(m)	(m)	(m/s)
A1-A2 (materasso)	9,8	50	2,5	0,9	3,36	16,1	109,20	1,0
A1-A2 (scogli)	9,8	50	2,5	0,9	3,36	16,6	110,45	1,0
B1-E2 (materasso)	9,8	53	5	0,7	6,10	17,1	111,66	1,7
B1-B2 (scogli)	9,8	53	5	0,7	6,10	18,1	113,97	1,7
C1-C2 (scogli)	9,8	53	5	0,7	6,10	19,35	116,67	1,6
D1-D2 (scogli)	9,8	53	5	0,7	6,10	20,85	119,65	1,5
E1-E2 (scogli)	9,8	53	5	0,7	6,10	21,85	121,50	1,4
H1-I2 (materasso)	11,6	64	4,4	0,9	5,92	16,15	134,14	1,9
H1-H2 (scogli)	11,6	64	4,4	0,9	5,92	18,85	142,78	1,7
I1-I2 (scogli)	11,6	64	4,4	0,9	5,92	16,6	135,66	1,9
L1-L2 (scogli)	11,6	64	4,4	0,9	5,92	16,6	135,66	1,9
M1-M2	3,5	65	1,65	0,7	2,01	12,65	19,10	0,1

7.1.2. Parametri caratteristici delle onde sotto la piattaforma

Le onde di progetto nell'area della piattaforma sono presentate in dettaglio nella Relazione Meteomarina del presente Progetto Esecutivo. Per quanto concerne le opere a protezione del fondale si assume come onda di progetto quella caratterizzata da un tempo di ritorno di 250 anni, come definito nel par. 5.2.

Dall'analisi dei risultati delle simulazioni di agitazione ondosa condotte con il modello matematico PHAROS, e calibrate con riferimento alle simulazioni eseguite su modello fisico (si veda la "Relazione meteomarina del Progetto Esecutivo"), è emerso che l'onda avente direzione al largo 80°N, a cui corrisponde un Hs=4,1 m e Tp=8,9 s, è quella che propagandosi sotto la piattaforma crea il campo d'onda più gravoso ai fini del dimensiomamento della protezione del fondale.

In Fig. 7.2 viene rappresentato il campo d'onda in tutta l'area del nuovo porto di Vado Ligure, mentre in Fig. 7.3 si illustra in modo schematico la distribuzione dell'altezza dell'onda sotto la piattaforma in relazione alle diverse quote d'imbasamento dei cassoni e ai materiali che lo costistuiscono.

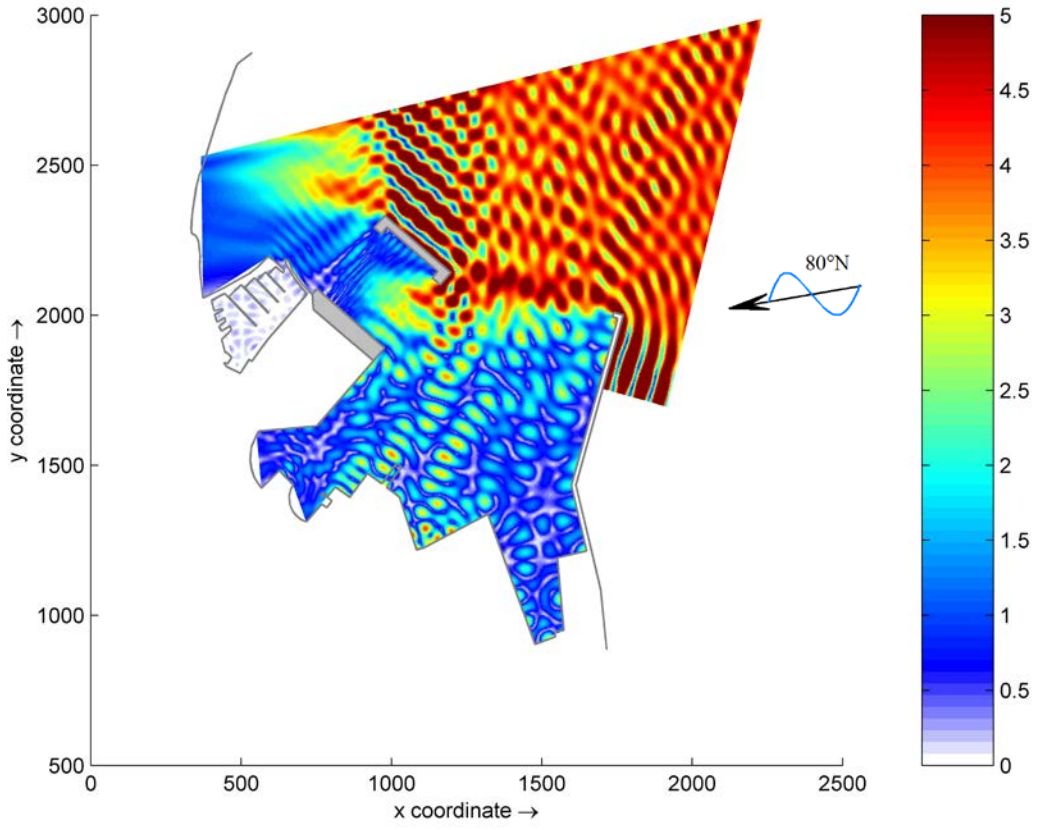


FIG. 7.2 - PROPAGAZIONE DELL'ONDA NELL'AREA DELLE NUOVE OPERE - ONDA AL LARGO CON PROVENIENZA 80°N E TR=250 ANNI: HS=4,1 M , TP=9,8 S

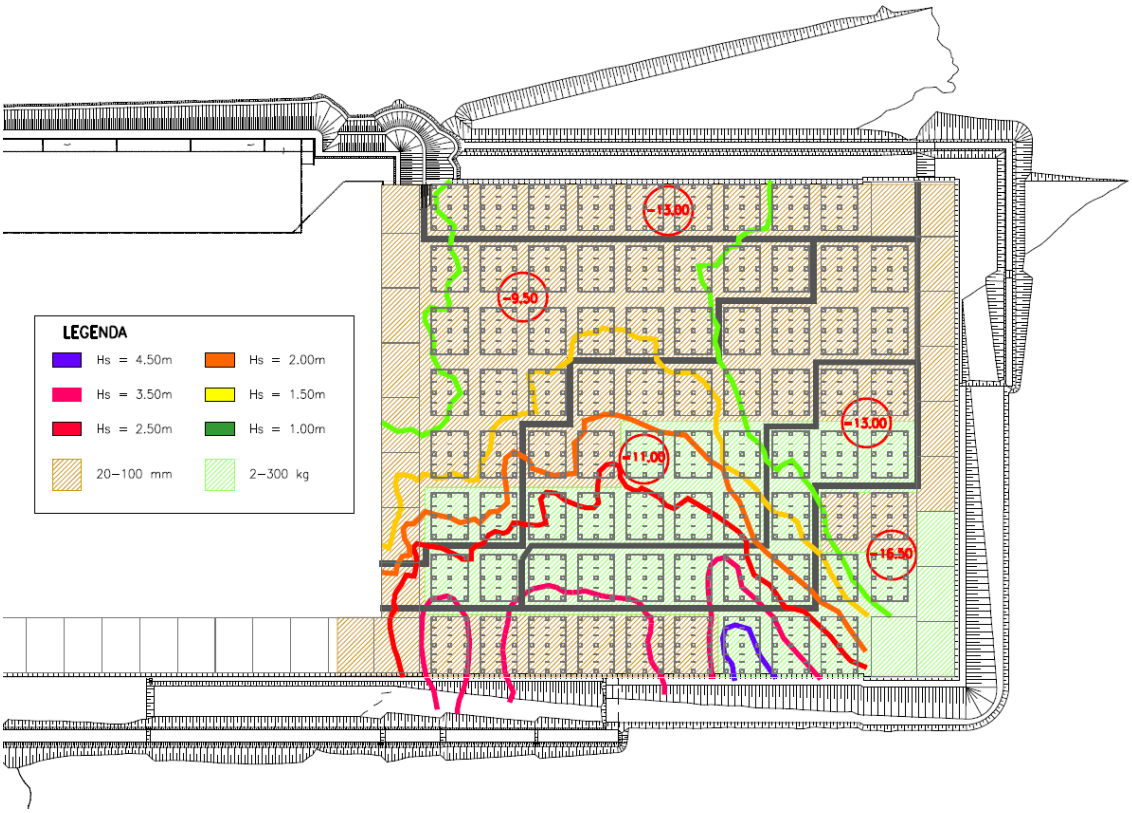


FIG. 7.3 - DISTRIBUZIONE DELLE ALTEZZE D'ONDA SOTTO LA PIATTAFORMA IN FUNZIONE DELLE QUOTE E DEL MATERIALE D'IMBASAMENTO DEI CASSONI

Dall'analisi dei campi d'onda è possibile definire le onde di progetto in corrispondenza dei cassoni sommersi in funzione della loro quota e materiale di imbasamento, per verificare la stabilità del materiale stesso di fondazione.

Di seguito si riportano due tabelle riassuntive delle onde di progetto. La prima,Tab. 7.4, presenta le onde di progetto in corrispondenza delle prime due file di cassoni (quelle perimetrali) sia per la banchina container che per la banchina petroli, mentre la seconda, Tab. 7.5, riporta le onde di progetto nell'area interna della piattaforma.

TAB. 7.4 - ONDE DI PROGETTO PER LE AREE PERIMETRALI SOTTO LA PIATTAFORMA -TR=250 ANNI

				Onde di progetto		
Banchina	**Imbasamento cassone**	**Fila**	**Onda al largo**		**Imbasamento in 20-100 mm D_{n50}=65mm**	**Imbasamento in 2-300 kg D_{n50}=300 mm**
			Dir	*Tp*	H_s	H_s
	(m,s,l,m,m)		*(°N)*	*(s)*	*(m)*	*(m)*
Container	-16,50	1°	80	9,8	3,5	5,0
	-13,00	2°	80	9,8	-	4,3
	-11,00	2°	80	9,8	-	3,5
Petroli	-13,00	1°	80	9,8	1,5	-
	-13,00	1°	30	3,5	1,65	-
	-9,50	2°	80	5,0	1,5	-

TAB. 7.5 - ONDE DI PROGETTO PER LE AREE INTERNE SOTTO LA PIATTAFORMA - TR=250 ANNI

		Onde di progetto		
Imbasamento cassone	**Onda al largo**		**Imbasamento in 20-100 mm D_{n50}=65mm**	**Imbasamento in 2-300 kg D_{n50}=300 mm**
		Tp	H_s	H_s
(m,s,l,m,m)	*Dir*	*(s)*	*(m)*	*(m)*
-16,5	80	9,8	1,0	-
-11,00	80	9,8	2,4	2,5
-13,00	80	9,8	1,0	1,5
-9,50	80	9,8	2,0	2,3

7.2. Azioni indotte dalle eliche principali e dei propulsori trasversali di prua e di poppa

Nel capitolo si sono presentate le soluzioni scelte per la protezione del fondale e della scarpata del rilevato di fondazione dei cassoni. In particolare si è scelto di utilizzare come protezione dei fondali materassi riempiti di calcestruzzo o massi naturali.

Per il dimensionamento delle protezioni in massi naturali la grandezza fisica caratteristica è la velocità della corrente sul fondo indotta dalle rotazione delle eliche trasversali e principali. Mentre per il dimensionamento dei materassi le grandezze fisiche caratteristiche sono la suzione indotta dalle eliche principali e la velocità della corrente sul fondo indotta dalla rotazione delle eliche principali e trasversali.

Riguardo alle eliche principali, sia la suzione che la velocità della corrente sul fondo sono funzione di due grandezze caratteristiche:
- la velocità del flusso uscente dalle eliche principali
- la profondità relativa dell'asse delle eliche principali.

Riguardo alle eliche trasversali, la velocità della corrente sul fondo è funzione del la velocità del flusso uscente dalle eliche stesse.

Per ogni sezione di progetto verrà di seguito valutata la sollecitazione massima agente sul fondo, la quale in funzione del tratto di banchina, sarà definita come suzione e/o massima velocità della corrente sul fondo.

7.2.1. Riferimenti per il calcolo dei carichi idrodinamici indotti dalle eliche principali

L'azione dell'elica principale sulla protezione del fondale sia in termini di massima velocità della corrente sul fondo, $U_{b,max}$ che in termini di massima suzione $S_{p,max}$, è stata definita in funzione della velocità d'uscita dall'elica, U_0 e della pro-

fondità relativa del fondale H_p/D_p o C/R_p (D_p, diametro dell'elica e $R_p=D_p/2$, raggio dell'elica) definita nello schema in Fig. 7.4.

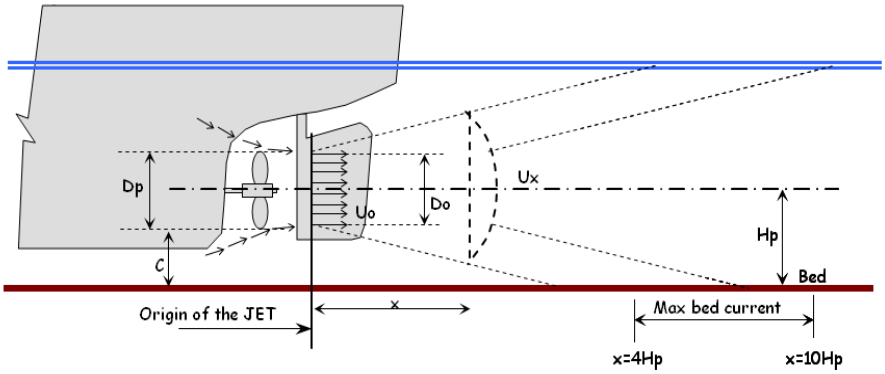


FIG. 7.4 - SCHEMA DEL GETTO DELL'ELICA PRINCIPALE

La definizione della U_0 viene fatta sulla base della teoria della quantità di moto come descritto dal Blaauw e Van de Kaa (1978), nella quale l'elica è pensata come un disco continuo attraverso il quale è fornita energia all'acqua che lo attraversa, la quale restituisce una forza netta sul disco uguale alla spinta dell'elica.

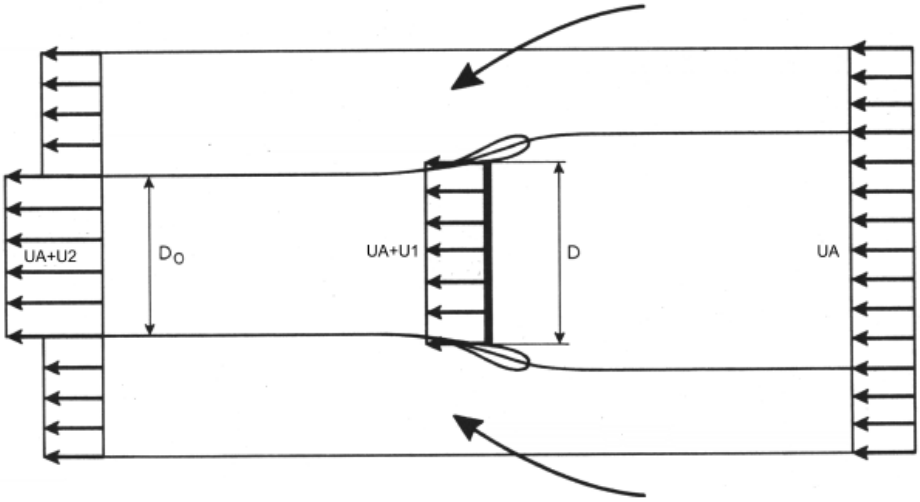


FIG. 7.5 - SCHEMATIZZAZIONE DELL'ELICA COME DISCO CONTINUO

Applicando questa teoria si arriva a definire il *thrust coefficient*, k_t dell'elica come:

$$k_t = \frac{T}{\rho n^2 D_p{}^4} = \frac{\rho \frac{\pi D_p{}^2}{4}(U_A + U_1)\cdot U_2}{\rho n^2 D_p{}^4}$$

Dove:

T: Spinta dell'elica
U_A: velocità del fluido indisturbato a monte dell'elica
U_1: velocità del fluido all'elica
D_p: diametro dell'elica non intubata
n: numero di giri per secondo dell'elica

Secondo il teorema di Bernoulli ad una distanza $D_p/2$, dove si verifica la massima contrazione del flusso, si ha che $U_1 = \frac{U_2}{2}$ e quindi:

$$k_t = \frac{\rho \frac{\pi D_p{}^2}{4}(U_A + \frac{U_2}{2})\cdot U_2}{\rho n^2 D_p{}^4}$$

Assumendo che durante il disormeggio la velocità $U_A \rightarrow 0$, è possibile eplicitare la U_2 ed ottenere:

$$U_o = U_2 + U_A = U_2 = \sqrt{\frac{8n^2 D_p{}^2}{\pi}\cdot k_{t,(j=0)}} \cong 1.6\cdot n\cdot D_p\sqrt{k_{t,(j=0)}}$$

Qualora non fosse noto il valore di $k_{t,(J=0)}$ esistono varie espressioni per la definizione della U_0 come funzione della potenza erogata dall'elica durante la manovra. Tra queste il PIANC presenta la relazione presentata da Blaauw et al. (1978) che sostituisce nell'espressione di k_t il valore della spinta dell'elica proposto da Schneiders (1975):

$$T = 205.72 D_p{}^2 c_1 \left(\frac{1.36P}{\frac{\pi}{4} D_p{}^2} \right)^{2/3}$$

Dove:

P:	Potenza erogata dall'elica
c_1=1.8	per eliche intubate
c_1=2.9	per eliche non intubate

Il risultato sono le seguenti due formule:

$$U_0 = 1.17 \cdot \left(\frac{P}{D_p{}^2} \right)^{1/3} \quad \rightarrow \text{per eliche intubate}$$

$$U_0 = 1.48 \cdot \left(\frac{P}{D_p{}^2} \right)^{1/3} \quad \rightarrow \text{per eliche non intubate}$$

Stimata la velocità U_0, è possibile andare calcolare la massima azione sul fondale, in termini di velocità massima della corrente o di suzione.

Valutazione della velocità della corrente sui fondali

Per il calcolo della massima velocità della corrente sul fondo, valore necessario per il dimensionamento dei massi di protezione, si è fatto riferimento alle curve riportate nel Bulletin no. 109 (2002) del PIANC le quali in funzione della profondità relativa H_p/ D_p (H_p=C+$D_p/2$) e della velocità in uscita dall'elica U_0, forniscono la massima velocità sul fondo (Fig. 7.6).

Per il progetto della piattaforma di Vado Ligure, è stato assunto che le banchine creino una restrizione al flusso prodotto dall'elica principale, e considerato che tutte le navi di progetto sono proviste di timone, la curva di riferimento per la definizione della massima velocità sul fondo è la curva 3.

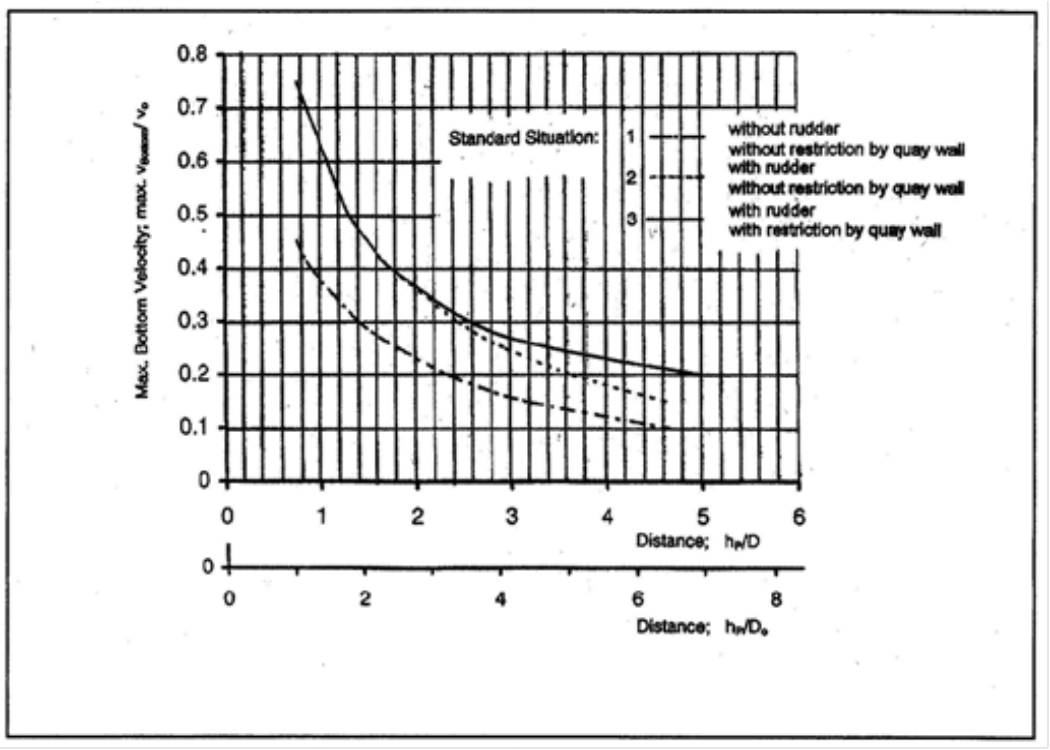


FIG. 7.6 - VELOCITÀ MASSIMA SUL FONDALE U_{MAX}/U_0 IN FUNZIONE DI H_P/D_P (BULLETIN NO. 109 (2002) OF PIANC.

Oltre alla protezione del fondale a ridosso dei cassoni, si prevede di proteggere anche la scarpata del dragaggio alla radice della banchina container A, come descritto nel cap. 6. Per il dimensionamento della suddetta protezione è necessario conoscere la massima velocità con cui il flusso di corrente indotto dall'elica principale incide sulla scarpata.

Romisch and Fuehrer (1981) hanno proposto la seguente equazione per la definizione della distribuzione della velocità del flusso uscente da un'elica non intubata nello spazio:

$$\frac{U_{x,\max}}{U_0} = 2{,}6 \cdot \left(\frac{D_p}{x} \right)^{1/3}$$

$$\frac{U_{x,z}}{U_{x,\max}} = \exp\cdot\left(-22{,}2\cdot\frac{z^2}{x^2}\right)$$

Dove:

$U_{x,max}$: è la massima velocità del flusso lungo l'asse dell'elica (z=0) al variare della distanza x

$U_{x,z}$: è la velocità in direzione x, al variare della distanza x dall'elica e z dall'asse dell'elica

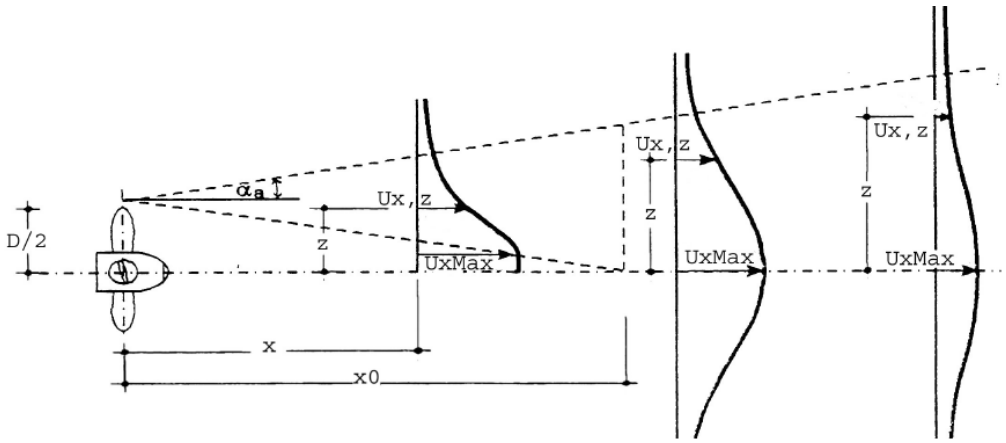


FIG. 7.7 - DISTRIBUZIONE SPAZIALE DELLE VELOCITÀ DEL FLUSSO DI UN'ELICA NON INTUBATA

Le formule sopra sono valide nel caso di flusso completamente sviluppato ($x>x_0$) ed indisturbato.

Valutazione dell'effetto di suzione sui fondali

Per quanto riguarda la stima della massima suzione che si crea localmente attorno all'elica in azione (vedi Fig. 7.8 e Fig. 7.9), e che mette in crisi la protezione in materassi sollevandola, si fa riferimento alla Fig. 7.10. Come si dimostra qui in seguito anche la suzione, come la massima corrente sul fondo indotta dalla rotazione dell'elica, è funzione della profondità relativa C/R_p (R_p: raggio dell'elica) e della velocità del flusso uscente dall'elica, U_0.

È infatti possibile definire il valore della spinta esercitata dall'elica in funzione della velocità U_p del flusso uscente dall'elica dove $U_p = U_1$ assumendo U_A=0.

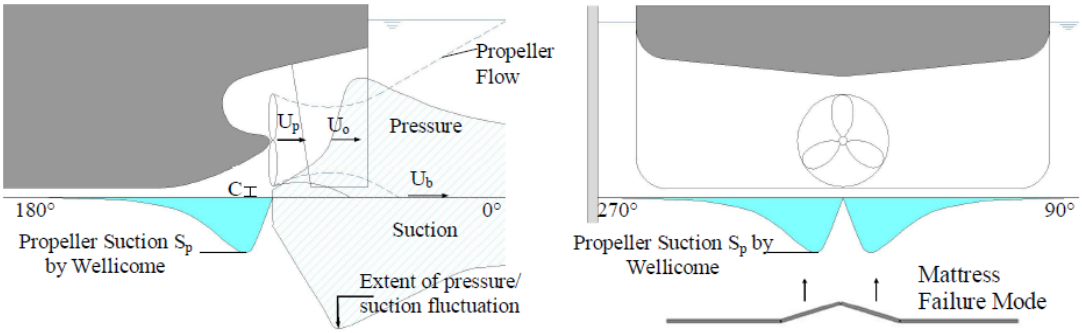


FIG. 7.8 - SOTTOSPINTA SUL MATERASSO DOVUTA ALLA SUZIONE PRODOTTA NELLE VICINANZE DELL'ELICA

La spinta per unità di area dell'elica può essere espressa come:

$$t=T/(\pi D_p^2/4)=2\tau\rho U_p^2 \qquad (kN/m^2)$$

dove τ è il rapporto tra la spinta dell'elica e la spinta totale del sistema.

Si ha che (Hawkswood et al., 2014) a seconda del tipo di elica, per τ si possono assumere i seguenti valori:

elica libera: $\tau = 1$, $U_p=0.5\ U_0$
elica intubata $\tau=½$, $U_p=U_0$
thruster $\tau=1/3$, $U_p=U_0$

Per la nave petroli si ultilzza quindi questa formula per la definizione della spinta per unità di area dell'elica mentre per la navi container Emma Maersk e per la nave rinfuse di progetto, sono disponibili i valori della spinta dell'elica registrati durante le rimulazioni in tempo reale.

Nota la *t* e calcolata la profondità relativa C/R_p, dal grafico in Fig. 7.10 si estrae il picco di suzione prodotto dall'azione dell'elica.

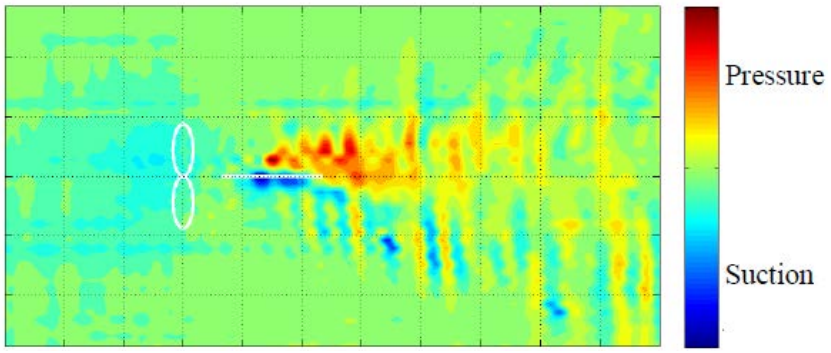


FIG. 7.9 - VISTA DEI CARICHI DOVUTI ALL'ELICA SUL FONDALE. TEST ESEGUITI PRESSO I LABORATORI DI MARIN

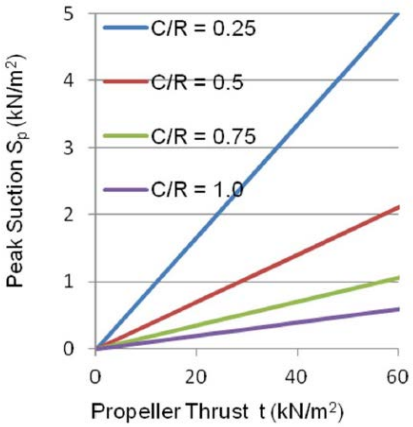


FIG. 7.10 - MASSIMA SUZIONE IN FUNZIONE DELLA SPINTA ESERCITATA DALL'ELICA (FONDALE ORIZZONTALE)

7.2.2. Riferimenti per il calcolo dei carichi idrodinamici indotti dai propulsori trasversali di prua e di poppa

Nel paragrafo 3 sono state presentate le dotazioni delle navi di progetto e si è evidenziato come alcune tra queste, la portacontainer Emma Maersk e la nave petroli Ottomana, siano dotate di propulsoni trasversali. Questa tipologia di elica viene tipicamente utilizzata al massimo della sua potenza per permettere di discostarsi o avvicinarsi più agevolmente da o alla banchina.

Il flusso generato è perpendicolare alla banchina stessa e non ha quindi effetto di suzione sui materassi a protezione del piede. Per il calcolo della velocità della cor-

rente che incide la protezione del fondale nella presente relazione si fa riferimento alla teoria proposta nelle EAU:

$$U_{0,t} = 1.04 \cdot \left[\frac{P_t}{\rho_0 \cdot D_t^{\,2}} \right]^{1/3}$$

Dove:

P_t: Potenza utilizzata dalle eliche trasversali (par. 5.1)

ρ_0: densità dell'acqua = 1.03 t/m^3

D_t: diametro interno del tubo dell'elica trasversale.

Schmidt e Romish (1993) affermano che la velocità del getto dell'acqua che incide sul fondale è funzione del rapporto tra la distanza dalla banchina, L, e il diametro del tubo ospitante l'elica, D_t come da schema in Fig. 7.11.

La formula che definisce la velocità sul fondale, zona 5, proposta da Schmidt e Romish (1975), e riportata anche nelle EAU è:

$$U_{t,\max,b} = 2.0 \cdot \left[\frac{D_t}{L} \right] \cdot U_{0,t}$$

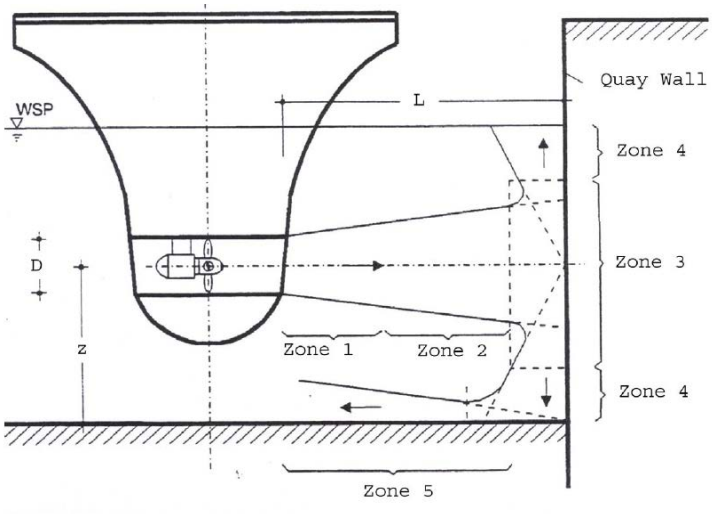


FIG. 7.11 - SCHEMA DEL GETTO PRODOTTO DA UN'ELICA TRASVERSALE

Dallo schema in Fig. 7.11 si può assumere inoltre che il flusso generato dai propulsori trasversali non abbia un effetto significativo sulla berma di ancoraggio dei materassi, trovandosi questa sempre al di la della zona 5.

In fine si evidenzia come la distanza L, qualona non espressamente nota, può essere stimata assumendo che il tubo del propulsore trasversale di prua sia lungo circa 30% della larghezza della nave come riportato in varie linee guida (PIANC WG22 e Thoresen).

7.2.3. Carichi di progetto indotti dalle eliche principali

Con riferimento ai metodi di calcolo presentati nei precedenti par. 7.2.1 e nelle tabelle sotto sono sintetizzate le azioni di progetto dovute alle eliche principali in corrispondenza di ogni tratto di banchina e sotto la piattaforma.

Per il calcolo della velocità U_0 delle eliche principali per le diverse navi di progetto nelle formule presentate nel par. 7.2.1 sono stati utilizzati i valori di k_t per J=0 riportati in Tab. 7.6:

TAB. 7.6 - VALORI DI K_T (J=0) UTILIZZATI PER IL CALCOLO DI U_0

Nave di progetto	K_t (J=0)	Fonte
Emma Maersk	0,77	Modello matematico usato dal CETENA per le simulazioni in tempo reale
Mini Cape	0,38	

Nel caso della nave di progetto per la banchina petroli, Ottomana, si è utilizzata la formula proposta nel par. 7.2.1 che definisce la U_0 in funzione della potenza utilizzata dall'elica principale.

Nei calcoli si è inoltre considerata a favore della sicurezza una bassa marea di -0,15 m s.l.m.m., rappresentativa della media delle basse maree sizigiali (Mean

Lower Water Spring, MLWS) desunta da "Admiralty Tide Tables" per la località di Genova.

Come già introdotto, per il dimensionamento dei materassi le grandezze fisiche caratteristiche sono la suzione e la velocità della corrente indotta per effetto della rotazione dell'elica, mentre per il dimensionamento delle protezioni in massi naturali la grandezza fisica caratteristica è la velocità della corrente sul fondo.

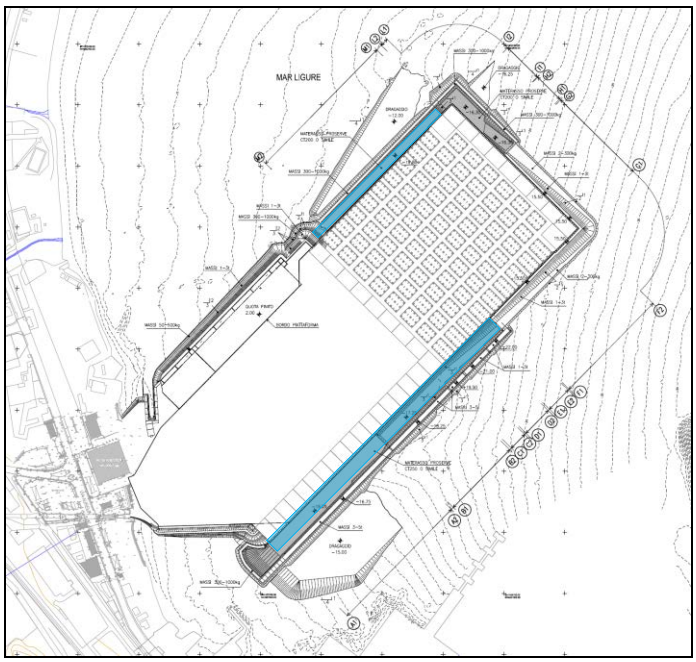
In Tab. 7.7 si presentano i valori di sottopressione (suzione) indotta dall'azione delle eliche principali sui materassi a protezione del fondale antistante le banchine.

In Tab. 7.8 si i valori di velocità della corrente indotta dall'azione delle eliche principali sui materassi a protezione del fondale antistante le banchine.

In Tab. 7.9 si presentano i valori di velocità della corrente indotta dall'azione delle eliche principali sulla protezione in massi naturali.

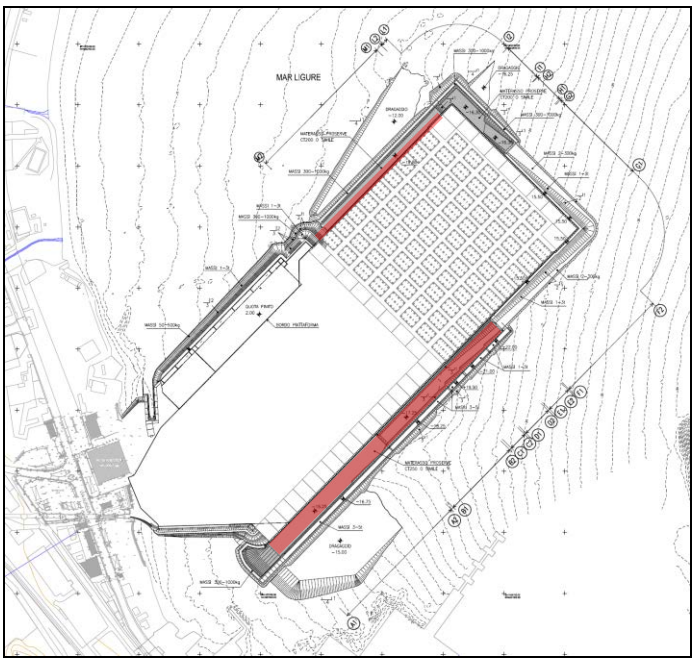
In Tab. 7.10 si presentano i valori di velocità della corrente indotta dall'azione delle eliche principali sulla protezione in massi naturali e in materasso in corrispondenza della scarpata del dragaggio dietro la banchina container.

TAB. 7.7 - SUZIONE INDOTTA DALLE ELICHE PRINCIPALI DELLE NAVI DI PROGETTO SUI MATERASSI ANTISTANTI LE BANCHINE



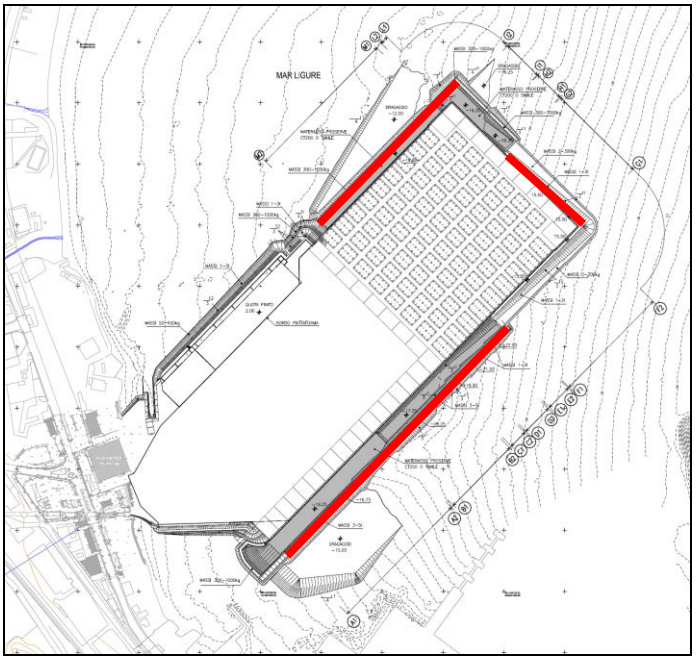
ELICA PRINCIPALE Suzione di picco sul materasso in cls												
Sezione	Nave	Pescaggio	R_p	Fondale	Bassa Mare	C	U_o	U_1	T	t	C/R_p	**S_p**
da - a		(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m/s)	(kN)	(kN/m^2)	(-)	**(m/s)**
A1-A2	Emma Maersk	13,75	4,8	-16,25	-0,15	2,45	7,8	3,9	2223,87	31	0,51	**1,1**
B1-E2	Emma Maersk	16,00	4,8	-17,25	-0,15	1,25	5,6	2,8	1142,12	16	0,25	**1,4**
L1-M2	Ottomana	9,96	2,75	-12,8	-0,15	2,79	6,1	3,1	461	19,5	1,01	**≈0,1**

TAB. 7.8 - VELOCITÀ DELLE CORRENTI INDOTTE DALLE ELICHE PRINCIPALI DELLE NAVI DI PROGETTO SUI MATERASSI ANTISTANTI LE BANCHINE



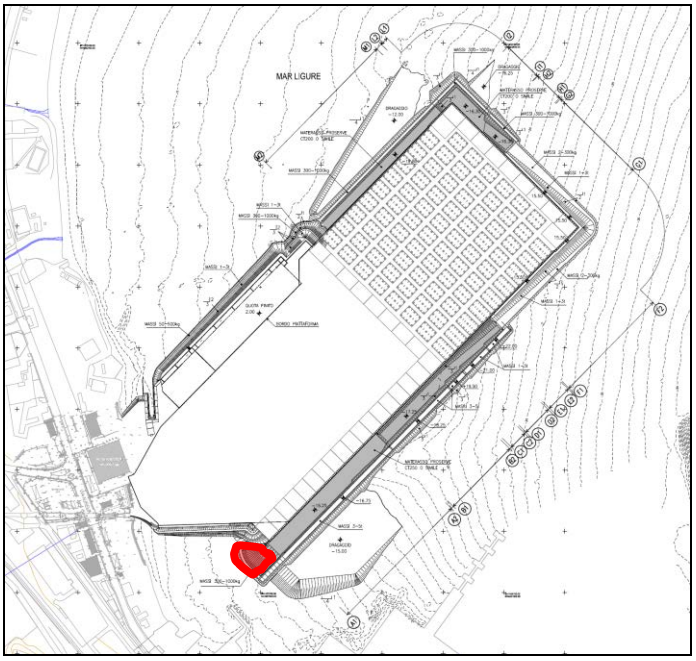
ELICA PRINCIPALE Velocità della corrente sul materasso in cls											
Sezione	Nave	Pescaggio	D_p	Fondale	MLWS	C	H_p	H_p/D_p	U_{bmax}/U_o	U_o	**$U_{b,max}$**
da - a		(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(-)	(m)	(m/s)	**(m/s)**
A1-A2	Emma Maersk	13,75	9,6	-16,25	-0,15	2,55	7,25	0,76	0,74	7,8	**5,8**
B1-B2	Emma Maersk	16,00	9,6	-17,25	-0,15	2,2	7,00	0,73	0,79	5,6	**4,4**
M1-M2	Ottomana	9,96	5,5	-12,8	-0,15	2,79	5,54	1,01	0,63	6,1	**3,9**

TAB. 7.9 - VELOCITÀ DELLE CORRENTI INDOTTE DALLE ELICHE PRINCIPALI SULLE PROTEZIONI IN MASSI NATURALI



ELICA PRINCIPALE Velocità della corrente sulla berma di ancoraggio del materasso o sulla scogliera a protezione della scarpata											
Sezione	Nave	Pescaggio	D_p	Fondale	MLWS	C	H_p	H_p/D_p	U_{bmax}/U_o	U_o	**$U_{b,max}$**
da - a		(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(-)	(m)	(m/s)	**(m/s)**
A1-A2	Emma Maersk	13,75	9,6	-16,75	-0,15	2,95	7,75	0,81	0,71	7,8	**5,6**
B1-B2	Emma Maersk	16,00	9,6	-18,25	-0,15	2,2	7,00	0,73	0,76	5,6	**4,3**
C2-C2	Emma Maersk	16,00	9,6	19,50	-0,15	3,45	8,25	0,86	0,70	5,6	**3,9**
D1-D2	Emma Maersk	16,00	9,6	-21,00	-0,15	4,95	9,8	1,02	0,63	5,6	**3,5**
E1-E2	Emma Maersk	16,00	9,6	-22,00	-0,15	5,95	10,8	1,12	0,63	5,6	**3,5**
G1-G2	Mini Cape	14,50	7,0	-21,00	-0,15	6,38	9,88	1,41	0,47	5,8	**2,75**
L1-L2	Ottomana	9,96	5,5	-16,75	-0,15	6,74	9,49	1,73	0,41	6,1	**2,5**
M1-M2	Ottomana	9,96	5,5	-12,8	-0,15	2,79	5,54	1,01	0,63	6,1	**3,9**

TAB. 7.10 - VELOCITÀ DELLE CORRENTI INDOTTE DALLE ELICHE PRINCIPALI SUL MATERASSO E MASSI NATURALI SULLA SCARPATA DEI DRAGAGGI DIETRO LA BANCHINA CONTAINER

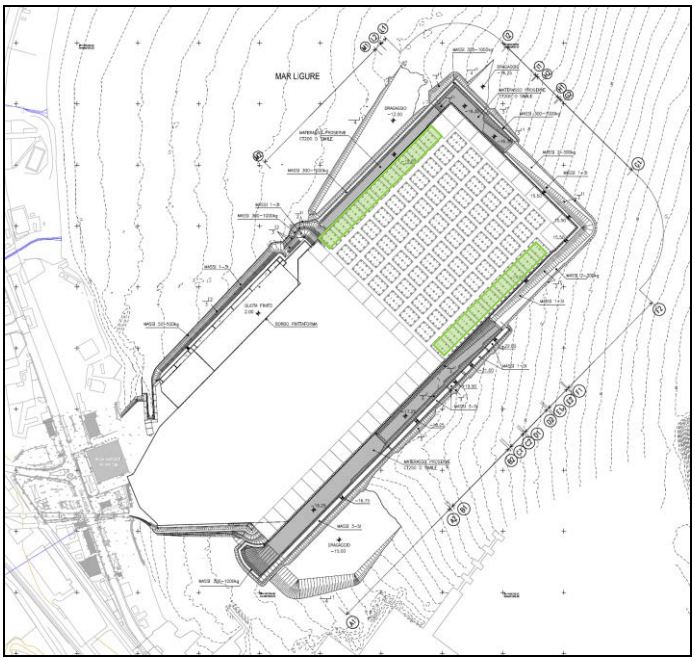


ELICA PRINCIPALE
Velocità della corrente sulla scarpata dei dragaggi retrostante la banchina container

Sezione	Nave	Pescaggio	D_p	Fondale	U_o	x	$U_{x,max}$
da - a		(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m)	**(m/s)**
scarpata	Emma Maersk	13,75	9,6	-16,25	7,8	45	**4,37**
Sommità scarpata	Emma Maersk	13,75	5,5	-16,25	7,8	60	**3,27**

Si è inoltre tenuto conto che l'elica principale possa indurre delle velocità sul fondo nei varchi tra i cassoni nel tratto compreso tra la sezione C1 ed E2, per la banchina container, e tra la sezione M1 ed M2, per la banchina petroli. Nella seguente Tab. 7.11 vengono presentate le velocità massime indotte dall'elica principale sul fondale nei varchi tra i cassoni nella zona sotto l'impalcato.

TAB. 7.11 - VELOCITÀ INDOTTE DALLE ELICHE PRINCIPALI DELLE NAVI DI PROGETTO SUL FONDALE NEI VARCHI TRA I CASSONI

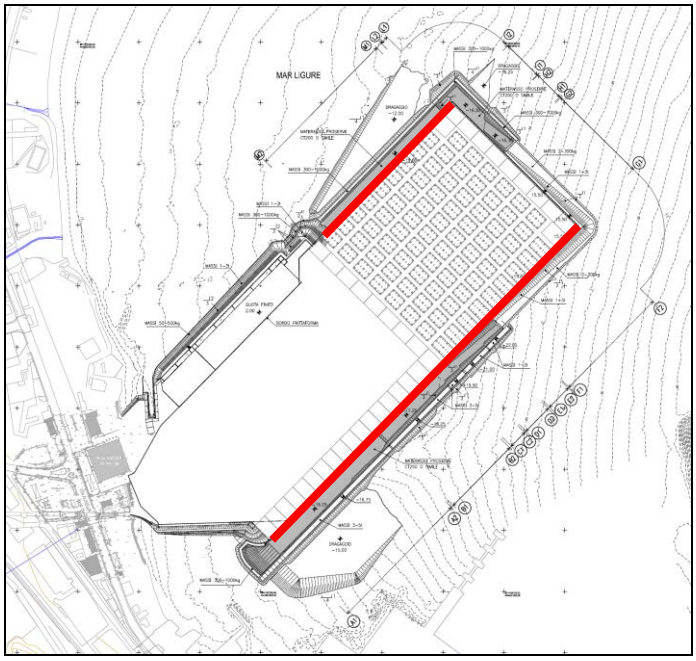


ELICA PRINCIPALE Velocità della corrente indotta dalle eliche principali sul fondale nei varchi tra i cassoni											
Sezione	Nave	Pescaggio	R_p	Fondale	MLW S	C	H_p	H_p/D_p	U_{max}/U_o	U_o	**$U_{b,max}$**
da - a		(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(-)	(-)	(m/s)	**(m/s)**
C1-E2	Emma Maersk	16,00	4,8	-16,5	-0,15	0,45	5,3	0,55	0,82	5,6	**4,6**
L1-M2	Ottomana	9,96	2,75	-13,0	-0,15	2,9	5,74	1,04	0,62	6,1	**3,8**

7.2.4. Carichi di progetto indotti dalle eliche trasversali

Con riferimento ai metodi di calcolo presentati nel precedente par. 7.2.2 nelle tabelle seguenti sono sintetizzate le azioni di progetto dovute alle eliche trasversali in corrispondenza di ogni tratto di banchina e sotto la piattaforma.

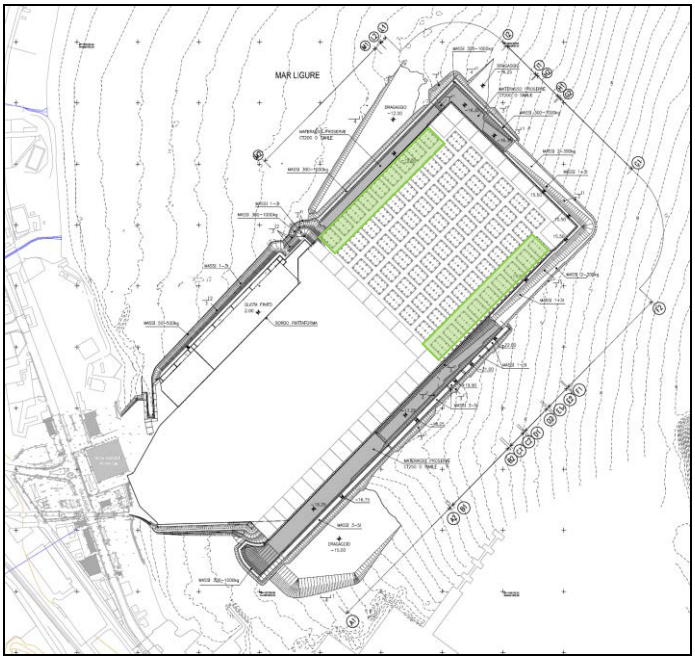
TAB. 7.12 - VELOCITÀ DELLA CORRENTE INDOTTE DALLE ELICHE TRASVERSALI SUI FONDALI ANTISTANTI LE BANCHINE



PROPULSORI TRASVERSALI Velocità della corrente sulla scogliera a protezione della scarpata dell'imbasamento dei cassoni						
Sezione	Nave	Elica	D_t	$U_{o,t}$	L	**$U_{bt,bmax}$**
da - a			(m)	(m/s)	(m)	**(m/s)**
A1-A2	Emma Maersk	Poppa	2,4	6,9	29	**1,15**
B1-E2	Emma Maersk	Prua	2,4	6,9	28	**1,18**
F1-F2	Emma Maersk	Prua	2,4	6,9	27	**1,24**
M1-M2	Ottomana	Prua	1,88	6,3	6,6	**3,55**

Infine si definiscono i carichi indotti dalle eliche delle navi di progetto sui fondali nei varchi tra i cassoni sotto la piattaforma. Si assume che il flusso generato dalle eliche trasversali incida la parete laterale dei cassoni con la stessa velocità con cui incide la parete frontale del cassone, andando a indurre un carico sul fondale nei varchi tra i cassoni equivalente a quello indotto sui fondali antistanti le banchine.

TAB. 7.13 - VELOCITÀ DI PROGETTO INDOTTE DALLE ELICHE TRASVERSALI SULLA PROTEZIONE DEL FONDALE NEI VARCHI TRA I CASSONI DELLA PRIMA FILA



PROPULSORI TRASVERSALI Velocità della corrente indotta dalle eliche trasversali sul fondale nei varchi tra i cassoni						
Sezione	Nave	Elica	D_t	$U_{o,t}$	L	**$U_{bt,bmax}$**
da - a			(m)	(m/s)	(m)	**(m/s)**
C1-F2	Emma Maersk	Poppa/Prua	2,4	6,9	28	**1,18**
M1-M2	Ottomana	Prua	1,88	6,3	6,6	**3,55**

8. DIMENSIONAMENTO DELLA PROTEZIONE DEI FONDALI

8.1. Riferimenti per il dimensionamento dei materassi riempiti di calcestruzzo

8.1.1. Materassi soggetti ai carichi idrodinamici indotti dalle eliche

Per quanto riguarda l'azione delle eliche principali, i carichi sono stati definiti in termini di suzione di picco (S_p) indotta dalla rotazione delle eliche, secondo la trattazione di Wellincome, 1981 (vedi Hawkswood et al., 2014).

Nota la suzione di picco, per essere stabile il materasso deve avere spessore minimo uguale a (Hawkswood et al., 2014):

$$D_{\min} = \frac{S.F.\cdot S_p \cdot A \cdot I_Q}{\gamma_D \Delta g}$$

Dove:

γ_D=0.9	fattore di sicurezza sullo spessore del materasso (±10%)
S.F.=1,5	fattore di sicurezza di progetto
A=0,8	coefficiente di suzione media (vedi Hawkswood et al., 2014).
S_p:	sottopressione di picco
I_Q=1,15	coefficiente di ondulazione per il materasso tipo CT o similare
Δ=1,3	= γ_{cls}/γ_w-1
γ_{cls}:	peso specifico del cls di riempimento del materasso
g:	accelerazione di gravità

Come esplicitato nella formula, per andare a dimensionare lo spessore del materasso, la suzione di picco su fondo piatto (S_p, calcolata dalla Fig. 7.10) deve essere moltiplicata per il coefficiente I_Q, detto coefficiente di ondulazione. Questo tiene conto dell'incremento di pressione negativa dovuto ad effetti idrodinamici sulla superficie ondulata del materasso. Nel caso di materassi "constant thickness" (CT) o similari, quali queli adottati nel presente progetto, il coefficiente I_Q assume valore uguale a 1.15 (Hawkswood et al., 2014).

Nel calcolo si è considerato un fattore di sicurezza pari a 1,5 come raccomandato nella pubblicazione Hawkswood et al., 2014, per limitare eventuali manutenzioni o riparazioni, che risulterebbero estremamente difficili oltre che dispendiose.

Per quanto riguarda la valutazione dello spessore minimo del materasso in funzione della velocità della corrente si fa riferimento al metodo di Pilarczyk (2000). Questo metodo, che è stato sviluppato per dimensionare materassi soggetti all'azione di una generica corrente, mette in relazione la velocità della corrente sul fondale con lo spessore minimo necessario a garantire la stabilità del materasso.

Pilarczyk propone tre curve in funzione del tipo di fondale su cui viene posato il materasso. Per tutte le situazioni specifiche del presente progetto, si è fatto riferimento in via cautelativa alla curva per "Variable bottom and slope configurations" (scarpate e fondali con andamento variabile) riportata in Fig. 8.1.

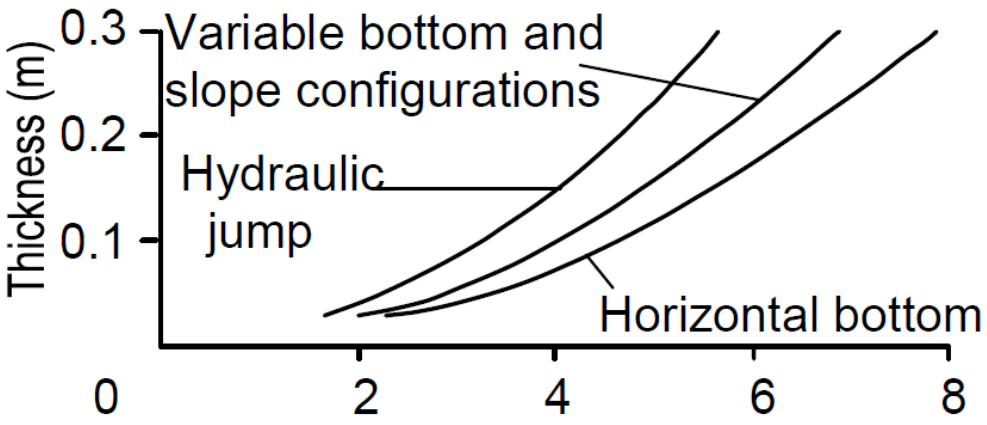


FIG. 8.1 - DIMENSIONAMENTO DELLO SPESSORE DEL MATERASSO IN FUNZIONE DELLA VELOCITÀ DELLA CORRENTE AGENTE SUL FONDO (PILARCZYK, 2000)

8.1.2. Materassi soggetti ai carichi idrodinamici indotti dalle onde

Nel par.7.1.1 sono state calcolate le velocità orbitali sul fondale indotte dall'azione del moto ondoso. Con riferimento alla teoria di Pilarczyk già introdotta nel precedente paragrafo, è possibile definire lo spessore minimo del materasso in grado di resistere alle suddette velocità della corrente sul fondo attraverso l'utilizzo del grafico in Fig. 8.1. Nel presente progetto si è cautelativamente scelto di fare riferimento alla curva "Variable bottom and slope configurations" (scarpate e fondali con andamento variabile).

Si fa notare tuttavia che i carichi trasmessi dalle onde sui fondali sono di entità modesta e inferiori a quelli indotti dalle eliche delle navi.

8.2. Riferimenti per il dimensionamento dei massi naturali

8.2.1. Massi naturali soggetti ai carichi idrodinamici indotti dalle eliche

Come introdotto nel par.7.2, il dimensionamento dei massi naturali a protezione dei fondali soggetti ai carichi idrodinami indotti dalle eliche, principali e trasversali, è funzione della massima velocità della corrente indotta sul fondo ($U_{b,max}$).

Come raccomandato nel PIANC WG22 (1997), nota la $U_{b,max}$, è prossibile definire la dimensione delle rocce a protezione del fondale utilizzando la curva in Fig. 8.2. D_{50} è il diametro equivalente della sfera, a partire del quale si può definire il diametro D_{n50} del masso attraverso l'equazione:

$$D_{n50} = \sqrt[3]{\frac{4}{3}\pi\left(\frac{D_{50}}{2}\right)^3} = 0{,}81 \cdot D_{50}$$

In fine, le linee guida del del PIANC WG22 (1997), raccomandano di aumentare il D_{50} risultante dal grafico del 50% qualora la protezione in roccia sia disposta su una superficie inclinata. I risultati dei calcoli per ogni tratto di protezione sono riportati nei paragrafi successivi.

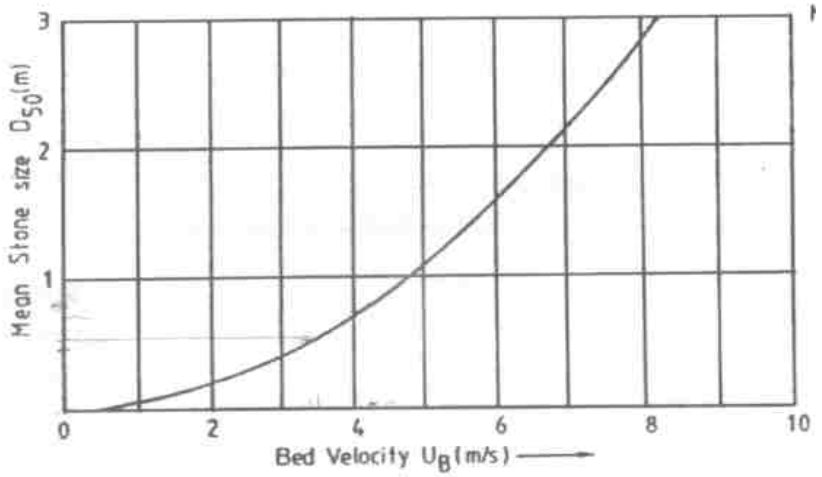


FIG. 8.2 - DIMENSIONE DEL MASSO DI PROTEZIONE (D50) IN FUNZIONE DELLA VELOCITÀ SUL FONDO UB,MAX (PIANC WG22, 1997)

8.2.2. Massi naturali soggetti ai carichi idrodinamici indotti dalle onde

Per il dimensionamento dei massi naturali soggetti all'azione delle onde, si sono distinti due metodi di calcolo in funzione della tipologia di protezione: berme di fissaggio dei materassi e protezioni dei fondali antistanti le banchine e sotto la piattaforma.

TAB. 8.1 - MODALITÀ DI CALCOLO DEL DIAMETRO MINIMO IN FUNZIONE DEL TIPO DI PROTEZIONE

Massi	Modalità di calcolo del D_{n50} minimo
Di ancoraggio della protezione in materassi	**Massima velocità orbitale** generata dall'onda sul fondale → par. 8.2.1
A protezione della scarpata e del piede del rilevato d'imbasamento dei cassoni	**Formula di Tanimoto et al**. (1982) modificata da Takahashi et al. (1990)
A protezione dei varchi tra i cassoni sotto l'impalcato	

Come riassunto in Tab. 8.1, i massi costituenti le berme di ancoraggio dei materassi vengono dimensionati con riferimento alla massima velocità orbitale generata dalle onde di progetto, secondo il metodo di calcolo enunciato per le velocità sul fondo indotte dalle eliche nel par. 8.2.1.

Per quanto riguarda invece la stabilità delle mantellate a protezione del rilevato di imbasamento dei cassoni e delle berme al piede delle stesse, si fa riferimento alla formula di Tanimoto et al. (1982) modificata da Takahashi et al. (1990) per tenere dell'angolo di incidenza dell'onda di progetto sulla stabilità della scogliera.

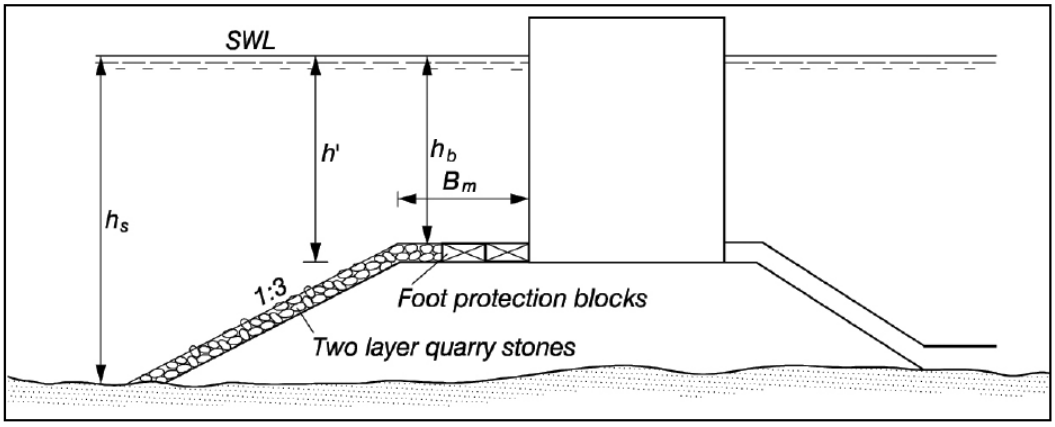


FIG. 8.3 - SCHEMA DI UNA TIPICA PROTEZIONE IN MASSI E MASSI GUARDIANI AL PIEDE DI UN'OPERA A PARETE VERTICALE (COASTAL ENGINEERING MANUAL, 2011)

Come riportato nella pubblicazione di Takahashi (1996), il masso medio costituente la mantellata per essere stabile sotto l'azione del moto ondoso deve avere un peso tale da rispettare la seguente formula:

$$W_{50} = \frac{\gamma_r H_s^{\ 3}}{N_s^{\ 3} \Delta^3}$$

Dove:

W_{50}:	Peso del masso medio
H_s:	Altezza significativa dell'onda di progetto
γ_r:	Peso specifico della roccia
Δ:	$=\gamma_r/\gamma_w-1=1.54$

γ_w: Peso specifico dell'acqua
N_s: coefficiente di stabilità

N_s può essere calcolato utilizzando la formula proposta da Tanimoto et al. (1987) e modificata da Takahashi (1996):

$$N_s = \left\{ \frac{1.8}{1.3\frac{1-k}{k^{1/3}H_s} + 1.8\left[\exp\left(-1.5\frac{(1-k)^2}{k^{1/3}}\cdot\frac{h'}{H_s}\right)\right]} \right\}$$

Dove:

$$k = \frac{4\pi h'/L'}{\sinh(4\pi h'/L')}k_2$$

$$k_2 = \max\left\{ \begin{array}{l} \alpha_s \sin^2\theta\cos^2\left(\frac{2\pi B_m}{L'}\cos\theta\right) \\ \cos^2\theta\sin^2\left(\frac{2\pi B_m}{L'}\cos\theta\right) \end{array} \right\}$$

B_m: Larghezza della berma d'imbasamento del cassone
α_s: =0.45 da esperimenti su modello fisico
Θ: angolo di incidenza dell'onda
L': lunghezza dell'onda corrispondente al periodo di picco dell'onda
h': profondità al piede del cassone.

La stesso metodo di calcolo viene adottato anche per il dimensionamento della protezione del fondale nei varchi tra i cassoni sotto l'impalcato.
In questo caso si assume come B_m, la distanza tra i cassoni rispetto alla direzione di incidenza dell'onda, e come h' la profondità al piede del cassone. Per quanto riguarda le altezze d'onda di progetto sotto all'impalcato si fa riferimento a quanto presentato nel par.7.1.1.

I calcoli per il dimensionamento di ogni tratto della protezione sono presentati nei paragrafi successivi.

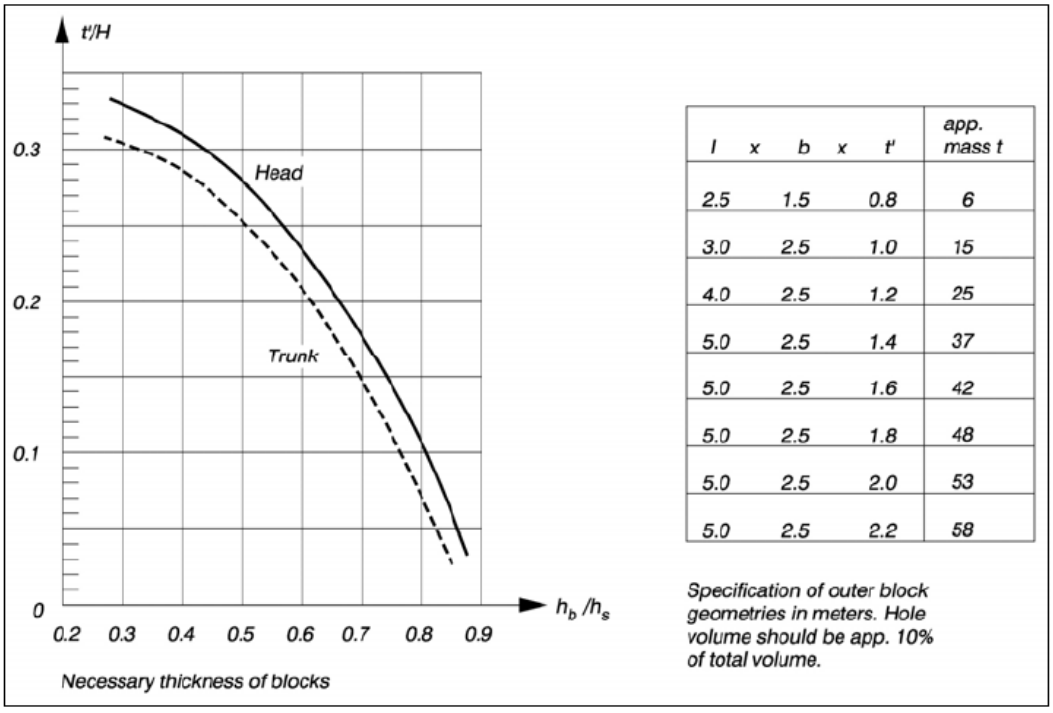
8.3. Riferimenti per il dimensionamento dei massi guardiani al piede dei cassoni

Lungo tutto il perimetro della piattaforma, sia al piede dei cassoni che in corrispondenza dei varichi, è prevista la messa in opera di massi guardiani in calcestruzzo armato per prevenire l'erosione della fondazione dei cassoni.

I massi, progettati secondo la prassi corrente, sono dotati di fori (con area totale dei fori uguale a circa il 10% della superficie a contatto con il fondale) per ridurre la sottopressione dovuta all'azione dell'onda e agente sul lato inferiore del blocco.

La Fig. 8.4 mostra un diagramma tratto da Takahashi (1996) per la determinazione dello spessore minimo t 'in funzione dell'altezza dell'onda di progetto incidente, H_s, e del rapporto tra le profondità h_b/h_s al piede e davanti alla struttura (vedi schema in Fig. 8.3).

I calcoli per la determinazione delle dimensioni dei massi utilizzati al piede delle banchine della piattaforma sono riportati nei successivi paragrafi.



l x b x t'	app. mass t
2.5 1.5 0.8	6
3.0 2.5 1.0	15
4.0 2.5 1.2	25
5.0 2.5 1.4	37
5.0 2.5 1.6	42
5.0 2.5 1.8	48
5.0 2.5 2.0	53
5.0 2.5 2.2	58

Specification of outer block geometries in meters. Hole volume should be app. 10% of total volume.

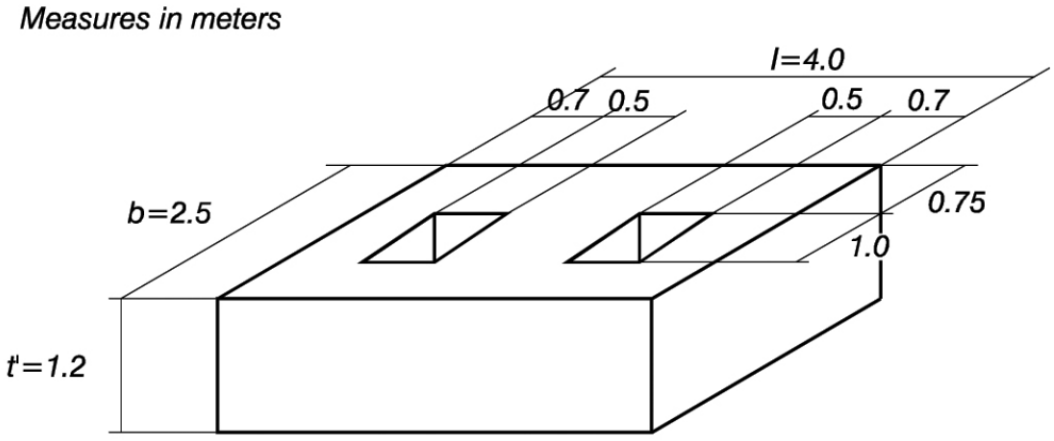


FIG. 8.4 - DEFINIZIONE DELLE DIMENSIONI DEI MASSI GUARDIANI (TAKAHASHI, 1996)

8.4. Protezione fondali davanti alla Banchina Container

8.4.1. Tipologia e larghezza della protezione

Per la protezione dei fondali antistanti la banchina container si sono previste due diverse soluzioni:

– lungo il tratto che si sviluppa della sezione A1 alla sezione E2, si prevede una protezione in materassi riempiti di calcestruzzo (in rosa nella Fig. 8.5), ancorati lungo il lembo esterno da una berma in massi naturali (in giallo nella Fig. 8.5);
– per il tratto che si sviluppa dalla sezione F1 alla sezione F2 si prevede invece la messa in opera di una scogliera in massi naturali, con berma al piede.

La larghezza della protezione per i due tratti (40 m in corrsipsondenza del tratto in materassi e 30 m nel tratto in massi naturali) è stata definita in relazione all'esigenza di assicurare la stabilità d'insieme del sistema terreno di fondazione-strutture (nel rispetto pertanto dei coefficienti di sicurezza previsti da normativa) e nel contempo di limitare i cedimenti delle strutture entro il limite previsto per garantire la funzionalità dell'opera in esercizio.

Come evidenziato in Tab. 8.2 si è potuto constatare che la larghezza della protezione ottenuta sulla base dei criteri di stabilità d'insieme ($L_{adottata}$) risulta congruente con quanto suggerito in letteratura in relazione all'azione delle onde e delle correnti indotte dalle eliche delle navi (vedi par.5.3). Si ricorda a tal proposito che, come definito nei criteri di progetto, in corrispondenza del tratto compreso tra le sezioni F1 e F2, le eliche principali non inducono carichi sulla protezione del fondale.

TAB. 8.2 - LARGHEZZA DELLA PROTEZIONE DEI FONDALI - BANCHINA CONTAINER

Sezione	B (Emma Maersk)	D	$L_{p,eliche}$ = B/2 + D + 5 m	L_{onda}	$L_{p,onde}$=1/4 L_{onda}	$L_{adottato}$
da - a	(m)	(m)	**(m)**	(m)	**(m/s)**	**(m)**
A1-E2 (materassi)	56,4	5	**38**	110	**26**	**40**
F1-F2 (scogli)	-	-	**-**	110	**28**	**30**

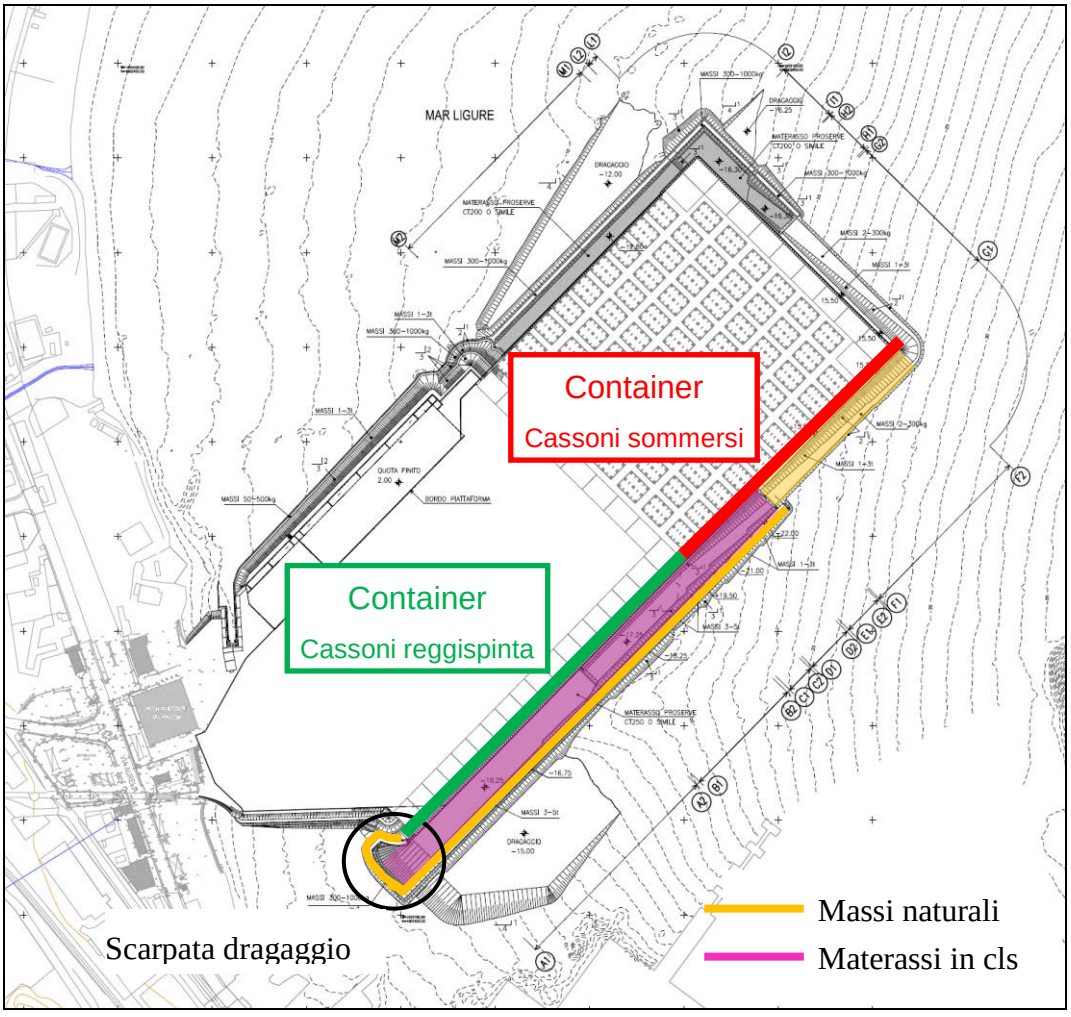


FIG. 8.5 - BANCHINA CONTAINER - PROTEZIONE TRATTO IN MATERASSI/BERMA IN MASSI E TRATTO IN MASSI NATURALI

8.4.2. Dimensionamento materasso in cls

Il materasso a protezione del fondale antistante le banchine è soggetto sia all'azione delle onde che all'azione delle eliche, principali e trasversali. Tuttavia, confrontando le velocità sul fondale presentate nel capitolo 7 indotte dalle due forzanti, risulta evidente che i carichi relativi alle onde sono modesti rispetto a quelli relativi alle eliche, e risultano quindi non dimensionanti.

Di seguito viene presentato il calcolo per la definizione dello spessore del materasso in corrispondenza delle zona antistante la banchina, con riferimento alla metodo di calcolo proposto da Hawkswood et al. (2014, vedi par.8.1.1) che mette in relazione la suzione indotta dall'elica principale sul fondale con lo spessore minimo richiesto.

TAB. 8.3 - SPESSORE MATERASSO PER EFFETTO DELLA SUZIONE INDOTTA DALL'ELICA PRINCIPALE (HAWKSWOOD ET AL., 2014) - BANCHINA CONTAINER

ELICA PRINCIPALE Spessore materasso per azione delle eliche principali - Trattazione di Hawkswood et al, (2014)							
Sezione	Nave	Pescaggio	RPM	Sommità materasso	S_p	S,F,	$D_{min} = \frac{S.F.\cdot S_p \cdot I_Q}{\gamma_D \Delta g}$
da - a		(m)		(m,s,l,m,m)	(kN/m^2)		(mm)
A1-A2	Emma Maersk	13,75	35	16,25	1,1	1,5	**130**
B1-E2	Emma Maersk	16,00	25	17,25	1,4	1,5	**170**

Si verificano gli spessori anche con riferimento alla trattazione di Pilarczyk (2000, vedi par.8.1.1) che mette in relazione la velocità massima agente sul materasso, con lo spessore minimo necessario a renderlo stabile.

TAB. 8.4 - SPESSORE MATERASSO PER EFFETTO VELOCITÀ DELLA CORRENTE INDOTTA DALL'ELICA PRINCIPALE (PILARCZYK, 2000) - BANCHINA CONTAINER

ELICA PRINCIPALE Dimensionamento materasso per azione delle eliche - Trattazione di Pilarczyk (2000)							
Sezione	Nave	Pescaggio	RPM	Sommità materasso	U_0	$U_{b,max}$	D_{min}
da - a		(m)		(m,s,l,m,m)	(m/s)		(mm)
A1-A2	Emma Maersk	13,75	35	16,25	7,8	5,8	**213**
B1-E2	Emma Maersk	16,00	25	17,25	5,6	4,4	**121**

Il materasso, oltre ad essere soggetto all'azione dell'elica principale è soggetto anche all'azione delle eliche trasversali della nave di progetto. Per definire lo spessore minimo in grado di garantire la stabilità del materasso alle velocità indotte dall'elica trasversale (vedi par.7.2.3) si fa riferimento al metodo di Pilarczyk (2000, vedi par.8.1.1). Il risultato del dimensionamento è presentato nella tabella seguente e come si può notare non è significativo ai fini del dimensionamento.

TAB. 8.5 - SPESSORE MATERASSO PER EFFETTO DELLA VELOCITÀ DELLA CORRENTE INDOTTA DALLE ELICHE TRASVERSALI (PILARCZYK, 2000) - BANCHINA CONTAINER

PROPULSORI TRASVERSALI Dimensionamento materasso per azione delle eliche - Trattazione di Pilarczyk (2000)					
Sezione	Nave	Elica	P	$U_{t,bmax}$	D_{min}
da - a			% P_{max}	(m/s)	(mm)
A1-A2	Emma Maersk	Poppa	100%	1,15	≈0,0
B1-E2	Emma Maersk	Prua	100%	1,18	≈0,0
F1-F2	Emma Maersk	Prua	100%	1,24	≈0,0

In conclusione, tenendo conto dei vari carichi indotti dalle eliche si definiscono i seguenti spessori di progetto per i materassi a protezione dei fondali antistanti la banchina container:

TAB. 8.6 - SPESSORE DEI MATERASSI ADOTTATI - BANCHINA CONTAINER

Sezione	Nave	Pescaggio	Sommità materasso	Tipo di materasso	**$D_{adottato}$**
da - a		(m)	(m,s,l,m,m)		**(mm)**
A1-A2	Emma Maersk	13,75	16,25	a spessore costante (CT)	**250**
B1-E2	Emma Maersk	16,00	17,25	a spessore costante (CT)	**250**

Nelle sezioni trasversali della protezione dei fondali antistanti la banchina container presentate nel cap. 6 e nei disegni di progetto, si osserva che il materasso, in corrispondenza della fascia più vicina al cassone, posa su materiali di granulometria 20-100 mm o 2-300 kg. Come descritto nei criteri di progetto, quando il materasso viene posato su materiale granulare, è raccomandabile che esso sia in grado di sfogare le sottopressioni che si possono generare all'interno del materiale di imbasamento per effetto dei moti di filtrazione. A questo scopo la fascia di materasso posata su materiale granulare, è dotata di un'opportuna maglia di fori, dettagliatamente presentata nei disegni di progetto e nel Capitolato Speciale.

Il diametro Ø dei fori viene definito secondo criteri di progetto definiti in Tab. 5.8. Il dimensionamento dei fori adottati è presentato in Tab. 8.7.

TAB. 8.7 - DIMENSIONAMENTO DEL DIAMETRO MASSIMO DEI FORI SUL MATERASSO IN CLS

Matteriale granulare d'imbasamento	D_{50} (mm)	D_{90} (mm)	Regola O_{90}	(mm)	O_{90max} (mm)	**$O_{90,adottato}$ (mm)**
20-100 mm	78	104	$O_{90}<2.5D_{50}$	194	104	**90**
			$O_{90}<D_{90}$	104		
2-300 kg	300	464	$O_{90}<2.5\ D_{50}$	750	464	
			$O_{90}<D_{90}$	464		

8.4.3. Dimensionamento del materasso a protezione della scarpata del dragaggio

Il materasso a protezione della scarpata del dragaggio in radice della banchina container deve essere dimensionato per resistere ai carichi indotti dall'azione dell'elica principale della nave di progetto. Si osserva tuttavia che in questo caso, non essendo il materasso posizionato al di sotto dell'elica della nave, esso non risente dell'effetto di suzione. Il flusso generato dalla rotazione dell'elica incide sulla scarpata provocando una pressione che aiuta quindi la stabilità del materasso.
Si utilizza di seguito il metodo di Pilarczyk (2000, vedi par.8.1.1) per calcolare lo spessore minimo necessario a rendere stabile il materasso in scarpata soggetto alle velocità della corrente indotta dall'elica principale.

Il risultato dei calcoli per il dimensionamento sono presentati nella tabella seguente.

TAB. 8.8 - SPESSORE MATERASSO PER EFFETTO DELLA VELOCITÀ DELLA CORRENTE INDOTTA DALLE ELICHE PRINCIPALI (PILARCZYK, 2000) - SCARPATA DRAGAGGIO RADICE BANCHINA CONTAINER

ELICA PRINCIPALE Velocità della corrente sulle scarpate dei dragaggi retrostanti la banchina container									
Sezione	Nave	Pescaggio	RPM	Fondale	U_o	x	$U_{x,max}$	D_{min}	**D adottato**
da - a		(m)		(m)	(m/s)	(m)	(m/s)	(mm)	**(mm)**
scarpata	Emma Maersk	13,75	35	-16,25	7,8	50	4,23	113	**200**

Si sceglie di tener conto del criterio di progetto secondo il quale, qualora il materasso sia posato in zone soggette a dragaggio di manutenzione, esso deve avere uno spessore minimo di 200 mm, al fine di essere in grado di resistere ad eventuali azioni meccaniche indotte dagli utensili necessari per l'esecuzione degli scavi.

8.4.4. Dimensionamento berma di fissaggio dei materassi

Come la protezione in materassi, anche le berme di ancoraggio in scogli sono soggette sia all'azione delle eliche delle navi che a quelle delle onde. Tuttavia, anche in questo caso i carichi indotti dalle onde sono modesti se confrontati con quelli indotte dalle eliche, e vengono quindi di seguito non considerati (vedi capitolo 7 per il confronto delle velocità).

Definita la massima velocità della corrente agente sulle berme, $U_{b,max}$ (par.7.2.3), attraverso il diagramma in Fig. 8.2 (contenuto nel PIANC) è possibile mettere in relazione U_{bmax}, con il minimo diametro in grado di garantire la stabilità.

Nella tabella seguente sono riportati i diametri minimi necessari e le categorie di massi di progetto adottate.

TAB. 8.9 - DIMENSIONAMENTO DEI MASSI PER LE BERME DI ANCORAGGIO DEI MATERASSI - BANCHINA CONTAINER

ELICA PRINCIPALE D_{n50} minimo per la berma di ancoraggio del materasso									
Sezione	Nave	Pescaggio	RPM	Sommità protezione	$U_{b,max}$	$D_{50s,min}$	$D_{n50,\ min}$	$D_{n50,\ adottato}$	**Categorie di massi adottate**
da - a				(m/s)	(m/s)	(mm)	(mm)	(mm)	**kg**
A1-A2	Emma Maersk	**13,75**	25	-16,75	**5,6**	1375	1108	1160	**3000-5000**
B1-B2	Emma Maersk	**16,00**	35	-18,25	**4,3**	815	657	904	**1000-3000**
C2-C2	Emma Maersk	**16,00**	35	19,50	**3,9**	694	559	904	**1000-3000**
D1-D2	Emma Maersk	**16,00**	35	-21,00	**3,5**	565	455	904	**1000-3000**
E1-E2	Emma Maersk	**16,00**	35	-22,00	**3,5**	562	453	904	**1000-3000**

Qui di seguito sono invece presentati i risultati dei calcoli per il dimensionamento dei massi di ancoraggio del materasso previsto a protezione della scarpata del dragaggio in radice della banchina container. Si fa notare che per il tratto in scarpata il diametro minimo richiesto per resistere alle velocità delle correnti indotte dall'elica della nave di progeto andrà aumentato del 50%, come già descritto nel par.8.2.1, e raccomandato dal PIANC.

TAB. 8.10 - DIMENSIONAMENTO DEI MASSI PER LE BERME DI ANCORAGGIO DEI MATERASSI - SCARPATE DEL DRAGAGGIO IN RADICE DELLA BANCHINA CONTAINER

ELICA PRINCIPALE D_{n50} min per la berma di ancoraggio del materasso a protezione delle scarpate del dragaggio in radice della banchina container								
Sezione	Nave	Distanza della nave	$U_{x,max}$	$D_{50s,min}$	$D_{n50,min}$	$1.5 \cdot D_{n50,min}$	$D_{n50,adottato}$	**Categoria di massi adottate**
		(m)	(m/s)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	**kg**
Scarpata	Emma Maersk	50	4.37	850	685	1028	1160	**3000-5000**
Sommità scarpata	Emma Maersk	65	3,27	485	391	587	619	**300-1000**

Si prevede in fine di posare i massi di ancoraggio dei materassi su 50 cm di materiale 2-300 kg posati a sua volta su geotessuto, allo scopo di creare uno strato filtro tra i massi di protezione e il terreno naturale.

8.4.5. Dimensionamento protezione in massi naturali

Per la definizione dei massi naturali di progetto a protezione della scarpata del rilevato d'imbasamento dei cassoni (Fig. 8.5), si va a confrontare il diametro minimo richiesto per resistere all'azione delle onde (dimensionato con il metodo di Tanimoto, secondo la trattazione presentata nel par. 8.2.2) con quello necessario a resistere all'azione delle eliche. Come evidenziato nei criteri di progetto lungo questo tratto della banchina container i carichi indotti dalle eliche sono solo quelli relativi ai propulsori trasversali di prua della Emma Maersk a pieno carico.

Per la definizione del diametro minimo necessario a resistere all'azione delle eliche si fa riferimento al diagramma in Fig. 8.2 che mette in relazione la massima velocità agente sul fondo, con il minimo diametro in grado di garantire la stabilità.

Nella , sono presentati sinteticamente i risultati del dimensionamento all'azione delle onde e di seguito quelli relativi al dimensionamento ai carichi indotti dalle eliche trasversali. Si fa notare che lungo questo tratto che richiede la posa in opera dei massi naturali in scarpata, il diametro minimo richiesto per resistere alle velocità delle correnti indotte dall'elica della nave di progeto andrà aumentato del 50%, come già descritto nel par.8.2.1, e raccomandato dal PIANC.

TAB. 8.11 - DIMENSIONAMENTO DEI MASSI PER LA PROTEZIONE DELLE SCARPATE DEL RILEVATO D'IMBASAMENTO DEI CASSONI - AZIONE ELICHE TRASVERSALI

ELICA TRASVERSALE Dimensionamento massi della scogliera a protezione della scarpata imbasamento cassoni della banchina container								
Sezione	Fondale	Nave	Tipo di elica	P	$U_{max,ELICHE}$	$D_{50s,minELICHE}$	$D_{n50,\ min\ ELICHE}$	$1{,}5 \cdot D_{n50,min,ELICHE}$
da - a	(m/s)			(%P_{max})	(m/s)	(mm)	(mm)	(mm)
F1-F2 Scarpata	-22,00	Emma Maersk	Trasversale di prua	100%	1,24	82	66	**100**

Qui sotto vengono invece presentate le dimensioni minime del masso necessario a garantire la stabilità all'azione del moto ondoso di progetto avente Tr=250 anni. Nel calcolo cautelativamente si è considerato un angolo di incidenza dell'onda β di 90°.

TAB. 8.12 - DIMENSIONAMENTO DEI MASSI PER LA PROTEZIONE DELLE SCARPATE DEL RILEVATO D'IMBASAMENTO DEI CASSONI - AZIONE ONDE

ONDE - Tanimoto D_{n50} minimo per la scogliera a protezione della scarpata						
Sezione	h'	β	B_m	H_s	T_p	**$D_{n50,min,ONDE}$**
da - a	(m/s)	(°)	(m)	(mm)	(mm)	**(mm)**
F1-F2 Scarpata	16,5	90	6,52	5,0	9,8	**663**

In base alle dimensioni minime del masso risultanti dai calcoli sopra presentati per le onde e per le eliche, si sceglie di adottare per la mantellata a protezione delle scarpate d'imbasamento dei cassoni nel tratto che si estende dalla sezione F1 alla F2, la **categoria di massi 1000-3000 kg**, avente diametro **D_{n50}=904 mm**.

8.4.6. Verifica degli strati filtro

La verifica della stabilità degli strati di filtro è stata eseguita in conformità alle Istruzioni Tecniche per la progettazione delle dighe frangiflutti edite dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (1996), adottando la regola dei filtri di Terzaghi già presentata nei criteri di progetto (par.5.4.1):

$$\frac{d_{15s}}{d_{15i}} < 20-25 \qquad \text{e} \qquad \frac{d_{15s}}{d_{85i}} < 4-5$$

Con riferimento alle sezioni di progetto già presentate nel par.6.2.1, nella Tab. 8.13 sono presentate le verifiche degli strati filtro per le categorie di massi utilizzati nell'ambito della protezione della banchina container. I pedici s ed i si indicano rispettivamente il diametro dello strato di granulometria superiore (strato filtro) e quello di granulometria inferiore (strato base).

TAB. 8.13- VERIFICA DELLO STRATO FILTRO -BANCHINA CONTAINER

Categoria massi superiori, s	Categoria massi inferiori, i	D_{15s}	D_{15i}	D_{85i}	D_{15s} / D_{85i}	D_{15s} / D_{15i}
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
3000-5000 kg	2-300 kg	1,075,0	140,4	440,0	2,4	7,7
1000-3000 kg	2-300 kg	766,6	140,4	440,0	1,7	5,5
300 - 1000 kg	2-300 kg	516	140,4	440,0	1,4	4,4
2-300 kg	L1 - naturale	140,4	0,003	0,1	1404	51063
2-300 kg	Bonifico	140,4	0,3	17,0	8,3	476,0
2-300 kg	20-100 mm	140,4	37,5	97	1,4	3,7
20-100 mm	Bonifico	37,5	0,003	17,0	2,2	127
20-100 mm	L1 - naturale	37,5	37,5	0,1	375	13636
					<4-5	**<20:25**

Come si osserva dalla Tab. 8.13 la regola dei filtri è sempre verificata tranne che per il materiale 2-300 kg posato, e per il materiale 20-100 mm posato sul terreno naturale o su bonifico.

Laddove non è verificata la regola dei filtri, si prevede di la posa in opera un geotessile non tessuto, che deve avere caratteristiche di permeabilità e fori in relazione allo strato base tali da rispettare i criteri di progetto definiti nel par. 5.4.3.

Per le sezioni in oggetto (vedi par.6.2.1) i due materiali su cui deve essere posato il geotessile sono il terreno naturale e il bonifico, in funzione dei quali si definiscono i valori di O_{90} e permeabilità, k_g, limite del geotessile di progetto (Tab. 8.14).

TAB. 8.14 - CARATTERISTICHE MINIME PER I GEOTESSILI DI PROGETTO

Matteriale sottostante il geotessile	D_{50} (mm)	D_{90} (mm)	k_s (m/s)	Regola O_{90}	(mm)	O_{90max} (mm)	$k_{g,\,min} = 5 \cdot k_s$ (m/s)
L1 - naturale	0,0195	0,130	$3x10^{-8}$	$O_{90}<10\ D_{50}$	0,20	0,13	$1,5 \cdot 10^{-7}$
				$O_{90}<D_{90}$	0,13		
Bonifico	2,20	21,5	$5x10^{-4}$	$O_{90}<2,5\ D_{50}$	5,50	5,50	$2,5 \cdot 10^{-3}$
				$O_{90}<D_{90}$	21,50		

In conclusione, il geotessile da posare sia sul terreno naturale che sul bonifico deve avere $O_{90}<130$ µm e $k_g>2.5 \times 10^{-3}$ m/s.

8.4.7. Dimensionamento dei massi guardiani

I massi guardiani in corrispondenza della banchina container sono stati dimensionati con riferimento alle onde di progetto riassunte nel par.7.1.1 e secondo il metodo di calcolo presentato nel par. 8.3. Il rapporto tra h_b/h_s e la modesta altezza d'onda di progetto in corrispondenza del tratto in cassori reggispinta della banchina container (vedi Fig. 7.1 e Tab. 7.1) non richiederebbero la posa in opera di massi guardiani, si è scelto tuttavia di proteggere anche in questo caso il piede del cassone con il minore dei massi previsti nella prassi progettuale corrente.

TAB. 8.15 - DIMENSIONAMENTO DEI MASSI GUARDIANI - BANCHINA CONTAINER

Tratto	Curva di riferimento (Fig. 8.4)	H_s (m)	h_b (m)	h_s (m)	h_b/h_s (-)	t'/H_s (-)	t'_{min} (m)	$t_{progetto}$ (m)	$l_{progetto}$ (m/s)	$b_{progetto}$ (m)	Masso Tipo
Cassoni reggispinta	trunk	2,5	16,5	20	0,83	0,04	0,1	0,8	3	2,5	1
Cassoni sommersi	trunk	5	16,5	25	0,66	0,17	0,85	1	3	2,5	2
Spigolo container-rinfuse	head	5	16,5	28	0,59	0,24	1,2	1,2	4	2,5	3

Secondo la prassi i massi guardiani devono avere una percentuale di area forata pari a circa il 10% della superficie a contatto con il terreno allo scopo di permettere lo sfogo delle sottopressioni indotte dalle onde incidenti i cassoni. Nella seguente Tab. 8.16 viene presentato il dimensionamento dei fori per le tre tipologie di massi.

Si è scelto di prevedere fori circolari aventi diametro 50 cm. Tuttavia, essendo i massi guardiani posati su materiale 20-100 mm e 2-300 kg, è necessario verificare che la dimensione dei fori sia tale da non permettere la perdita di fini del materiale d'imbasamento. Tale verifica è già stata presentata per la determinazione del diametro dei fori sul materasso a protezione dei fondali (Tab. 8.7), e porta a definire un diametro massimo di 104 mm. Si prevede quindi che sotto i fori delle tre tipologie di massi guardiani venga applicata una rete metallica con maglia esagonale di tipo 60x80mm per evitare la fuoriuscita del materiale granulare.

TAB. 8.16 - MASSI GUARDIANI - DIMENSIONAMENTO AREA FORI

Masso tipo	Diametro fori	Numero fori	Area totale fori	Area Masso	A_{fori}/A_{masso}
	m	(n°)	(m^2)	(m^2)	%
1	0,5	4	0,79	7,50	10,5%
2	0,5	4	0,79	7,50	10,5%
3	0,5	5	0,98	10,00	9,8%

La planimetria in Fig. 8.6 illustra la disposizione dei tre tipi di massi guardiani qui dimensionati.

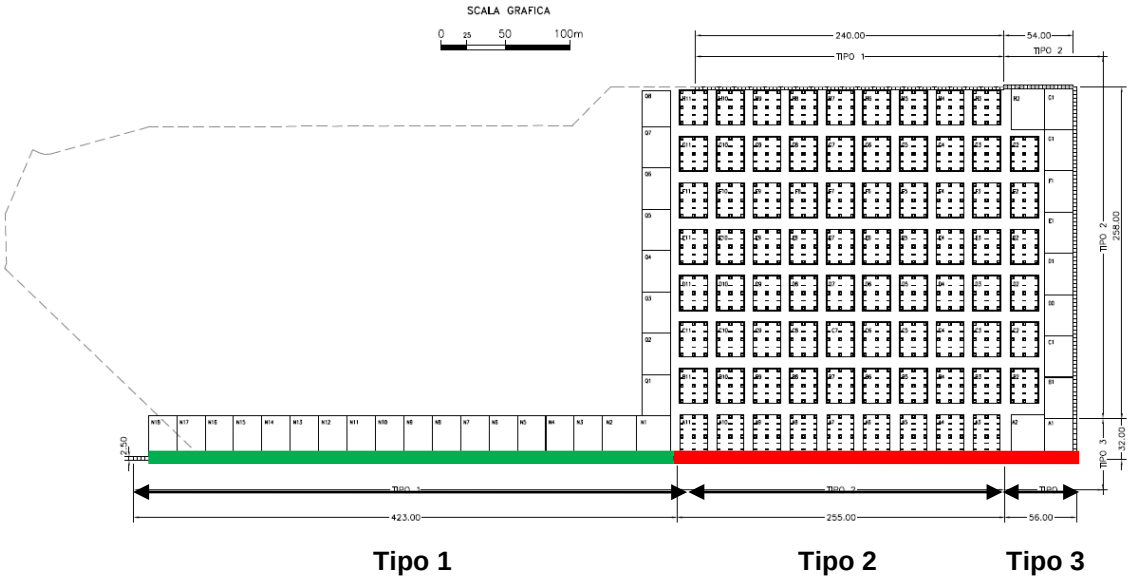


FIG. 8.6 - DISPOSIZIONE PLANIMETRICA DEI MASSI GUARDIANI - BANCHINA CONTAINER

8.5. Protezione fondali davanti alla Banchina Rinfuse

8.5.1. Tipologia e larghezza della protezione

Per la protezione dei fondali antistanti la banchina rinfuse si sono previste due diverse soluzioni:

– per il tratto che si sviluppa dalla sezione G1 alla sezione G2 si prevede di proteggere la scarpata del rilevato d'imbasamento dei cassoni con una scogliera in massi naturali, con berma al piede.
– lungo il tratto che si sviluppa dalla sezione H1 alla sezione I2, si prevede invece una protezione in materassi riempiti di calcestruzzo (in rosa nella Fig. 8.7), ancorati lungo il lembo esterno da una berma in massi naturali (in giallo nella Fig. 8.7).

La larghezza della protezione per i due tratti (30 m in corrispondenza del tratto in massi naturali e 35 m nel tratto in materassi) è stata definita in relazione all'esigenza di assicurare la stabilità d'insieme del sistema terreno di fondazione-strutture (nel rispetto pertanto dei coefficienti di sicurezza previsti da normativa) e

nel contempo di limitare i cedimenti delle strutture entro il limite previsto per garantire la funzionalità dell'opera in esercizio.

Come evidenziato in Tab. 8.17 si è potuto constatare che la larghezza della protezione ottenuta sulla base dei criteri di stabilità d'insieme risulta congruente con quanto suggerito in letteratura in relazione all'azione delle onde e delle correnti indotte dalle eliche delle navi. Si ricorda a tal proposito che, come definito nei criteri di progetto, in corrispondenza del tratto compreso tra le sezioni H1 e I2, le eliche principali non inducono carichi sulla protezione del fondale. Questo tratto è tuttavia più esposto rispetto al resto della banchina all'azione delle onde provenienti dal settore 100-150°N, caratterizzato da un periodo di picco dell'onda di progetto più lungo (T_p=11,6 s). Questo implica una lunghezza d'onda di 128 m rispetto ai 110 del tratto di banchina verso levante (T_p=9,8 s), e quindi una maggior larghezza di protezione.

TAB. 8.17 - LARGHEZZA DELLA PROTEZIONE DEI FONDALI - BANCHINA RINFUSE

Sezione	B (Mini Cape)	D	**$L_{p,eliche}$ = B/2 + D + 5 m**	L_{onda}	**$L_{p,onde}$=1/4 L_{onda}**	**$L_{adottato}$**
da - a	(m)	(m)	**(m)**	(m)	**(m/s)**	**(m)**
G1-G2 (scogli)	43	4	**30,5**	110	**28**	**30**
H1-I2 (materassi)	-	-	-	128	**32**	**35**

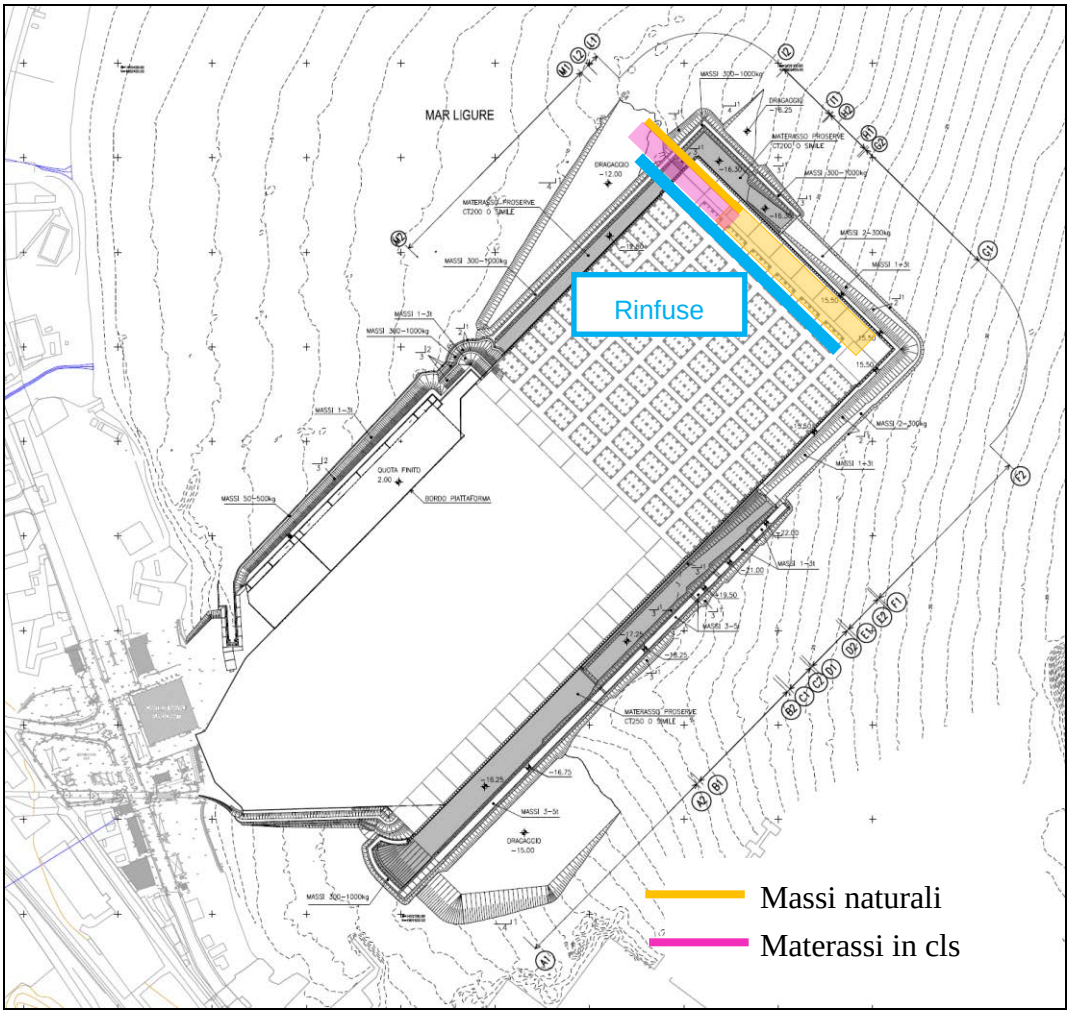


FIG. 8.7- BANCHINA RINFUSE - PROTEZIONE CON TRATTO IN MATERASSI/BERMA IN MASSI E TRATTO IN MASSI NATURALI

8.5.2. Dimensionamento materasso in cls

Il materasso previsto a protezione del tratto compreso tra la sezione H1 e I2 viene qui di seguito dimensionato considerando la sola azione delle onde. Infatti la nave rinfuse di progetto non è dotata di eliche trasversali e l'elica principale non ha modo di indurre correnti su questo tratto di banchina, in quanto, sotto esplicita richiesta della Capitaneria di Porto, essa dovrà ormeggiare esclusivamente con la murata sinistra verso la banchina.

Non dovendo considerare carichi di suzione, per il dimensionamento del materasso si fa riferimento al metodo di calcolo elaborato da Pilarczyk (2000, vedi par.8.1.1) che mette in relazione la velocità massima agente sul materasso, in questo caso la velocità orbitale indotta dall'onda di progetto, con lo spessore minimo necessario a renderlo stabile.

TAB. 8.18 - SPESSORE MATERASSO PER EFFETTO DELLE ONDE DI PROGETTO (PILARCZYK, 2000) - BANCHINA RINFUSE

VELOCITÀ ORBITALI ONDE Dimensionamento materasso per azione delle onde - Trattazione di Pilarczyk (2000)					
	T_p	$H_{s,tot}$	Fondale	U_{orbit}	D_{min}
Sezioni	(s)	(m)	(m s,l,m,m,)	(m/s)	(mm)
H1-I2	11,6	5,92	16,3	1,9	≈25

Secondo quanto definito nel capitolo dei criteri di progetto, qualora il materasso sia posato in zone dragate, come è il caso dei fondali antistanti la banchina rinfuse, esso deve avere uno spessore minimo di 200 mm. Questo per garantire che il materasso sia in grado di resistere ad eventuali azioni meccaniche ad opera degli utensili utilizzati durante gli interventi di manutenzione del dragaggio.

In conclusione si prevede di posare un materasso di tipo a spessore costante ('Constant Thickness') avente uno spessore di 200mm.

Come nel caso banchina container, anche in questo caso i materassi lungo la fascia dove posano su materiale granulare (20-100 mm e 2-300 kg) sono provvisti di fori per sfogare le sottopressioni che si possono generare all'interno del materiale di imbasamento per effetto dei moti di filtrazione.

La geometria della maglia di fori è definita nei disegni di progetto e nel Capitolato Speciale, mentre il diametro Ø dei fori viene determinato in base ai criteri di progetto presentati in Tab. 5.8. Dal dimensionamento già presentato in Tab. 8.7, risulta che Ømax=104 mm, che porta alla scelta di un diametro di progetto $Ø_{adottato}$=90mm.

8.5.3. Dimensionamento berma di fissaggio dei materassi

Come la protezione in materassi, anche le berme di ancoraggio in scogli sono soggette solo alle azioni indotte dalle onde.
Definita la massima velocità orbitale agente sulle berme, U_{orbit} (par.7.2.3), attraverso il diagramma in Fig. 8.2 è possibile mette in relazione U_{orbit} con il diametro minimo in grado di garantire la stabilità.

Nella tabella seguente sono riportati i diametri minimi necessari e le categorie di massi di progetto adottate.

TAB. 8.19 - DIMENSIONAMENTO DEI MASSI PER LE BERME DI ANCORAGGIO DEI MATERASSI - BANCHINA RINFUSE

VELOCITÀ ORBITALI ONDE Dimensionamento massi naturali berma di fissaggio del materasso								
	T_p	$H_{s,tot}$	Fondale	U_{orbit}	$D_{s50,\ min}$	$D_{n50,\ min}$	$D_{n50,adottato}$	**Categoria di massi adotatte**
Sezioni	(s)	(m)	(m s,l,m,m,)	(m/s)	(mm)	(mm)	(mm)	**kg**
H1-H2	11,6	5,92	19,00	1,7	142	114	619	**300-1000**
I1-I2	11,6	5,92	16,75	1,9	173	140	619	**300-1000**

In fine si prevede di posare i massi di ancoraggio dei materassi su 50 cm di materiale 2-300 kg (a sua volta posato su geotessile non tessuto), allo scopo di creare uno strato filtro tra i massi di protezione e il terreno naturale.

8.5.4. Dimensionamento protezione in massi naturali

Per la definizione dei massi naturali di progetto a protezione della scarpata del rilevato d'imbasamento dei cassoni (Tab. 8.7), si va a confrontare il diametro minimo richiesto per resistere all'azione delle onde (ottenuto con il metodo di Tanimoto, secondo la trattazione presentata nel par. 8.2.2) con quello necessario a resistere all'azione delle eliche. Come evidenziato nei criteri di progetto lungo questo tratto della banchina rinfuse i carichi indotti dalle eliche sono solo quelli relativi ai propulsori principali della nave di progetto Mini Cape.

Per la definizione del diametro minimo necessario a resistere all'azione delle eliche si fa riferimento al diagramma in Fig. 8.2 che mette in relazione la massima velocità agente sul fondo, con il minimo diametro in grado di garantire la stabilità. Nella Tab. 8.20, sono presentati i risultati del dimensionamento per i carichi indotti dall'elica principale e di seguito quelli relativi al dimensionamento per l'azione delle onde. Si fa notare che lungo questo tratto dove i massi naturali sono posati in scarpata, il diametro minimo richiesto per resistere alle velocità delle correnti indotte dall'elica della nave di progetto viene incrementato del 50%, come già descritto nel par.8.2.1, e raccomandato dal PIANC.

Come quota del fondale si è assunto cautelativamente -21 m s.l.m.m, che implica che la nave sia ormeggiata con la prua al limite del dragaggio verso ponente.

TAB. 8.20 - DIMENSIONAMENTO DEI MASSI PER LA PROTEZIONE DELLE SCARPATE DEL RILEVATO D'IMBASAMENTO DEI CASSONI PER AZIONE ELICA PRINCIPALE - BANCHINA RINFUSE

ELICA PRINCIPALE Dimensionamento massi della scogliera a protezione della scarpata dell'imbasamento dei cassoni della banchina rinfuse								
Sezione	Nave	Pescaggio	RPM	Fondale	$U_{bmax,ELICHE}$	$D_{50s,minELICHE}$	$D_{n50,\ min\ ELICHE}$	**$1.5 \cdot D_{n50,min,ELICHE}$**
da - a		(m)		(m s.l.m.m.)	(m/s)	(mm)	(mm)	**(mm)**
F1-F2	Mini Cape	14,5	50	-21,0	,2.75	344	277	**416**

Di seguito vengono invece presentate le dimensioni minime del masso necessario a garantire la stabilità all'azione del moto ondoso di progetto avente Tr=250 anni. Nel calcolo cautelativamente si è considerato un angolo di incidenza β di 90°.

TAB. 8.21 - DIMENSIONAMENTO DEI MASSI PER LA PROTEZIONE DELLE SCARPATE DEL RILEVATO D'IMBASAMENTO DEI CASSONI - AZIONE ONDE

ONDE - Tanimoto D_{n50} minimo per la scogliera a protezione della scarpata						
Sezione	h'	β	B_m	H_s	T_p	**$D_{n50,min,ONDE}$**
da - a	(m/s)	(°)	(m)	(mm)	(mm)	**(mm)**
G1-G2 Scarpata	16,5	90	6,52	4,4	9,8	**515**
Angolo container rinfuse	16,5	90	6,52	5,0	9,8	**663**

In base alle dimensioni minime del masso risultanti dai calcoli sopra, è stata adottata per la mantellata a protezione delle scarpate d'imbasamento dei cassoni nel tratto che si estende dalla sezione G1 alla G2, la **categoria di massi 1000-3000 kg**, avente diametro **D_{n50}=904 mm**. Questo per rendere uniforme la categoria di massi utilizzata lungo questo tratto con quella prevista nell'angolo tra la banchina container e la banchina rinfuse.

8.5.5. Verifica degli strati filtro

La verifica della stabilità degli strati di filtro è stata eseguita in conformità alle Istruzioni Tecniche per la progettazione delle dighe frangiflutti edite dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (1996), adottando la regola dei filtri di Terzaghi già presentata nei criteri di progetto (par.5.4.1).

$$\frac{d_{15s}}{d_{15i}} < 20-25 \qquad \text{e} \qquad \frac{d_{15s}}{d_{85i}} < 4-5$$

Con riferimento alle sezioni di progetto già presentate nel par.6.2.1, nella Tab. 8.13 sono presentate le verifiche degli strati filtro per le categorie di massi utilizzati nell'ambito della protezione della banchina petroli. I pedici s ed i si indicano rispettivamente il diametro dello strato di granulometria superiore (strato filtro) e quello di granulometria inferiore (strato base).

TAB. 8.22 - VERIFICA DELLO STRATO FILTRO - BANCHINA RINFUSE

Categoria massi superiori, s	Categoria massi inferiori, i	D_{15s} (mm)	D_{15i} (mm)	D_{85i} (mm)	D_{15s} / D_{85i} (mm)	D_{15s} / D_{15i} (mm)
3000-5000 kg	2-300 kg	1,075,0	140,4	440,0	2,4	7,7
1000-3000 kg	2-300 kg	766,6	140,4	440,0	1,7	5,5
300 - 1000 kg	2-300 kg	516	140,4	440,0	1,4	4,4
2-300 kg	L1 - naturale	140,4	0,003	0,1	1404	51063
2-300 kg	Bonifico	140,4	0,3	17,0	8,3	476,0
2-300 kg	20-100 kg	140,4	37,5	97	1,4	3,7
20-100 mm	Bonifico	37,5	0,3	17,0	2,2	127
20-100 mm	L1 - naturale	37,5	37,5	0,1	375	13636
					<4-5	**<20:25**

Come si osserva dallaTab. 8.22 la regola dei filtri è sempre verificata tranne che per il materiale 2-300 kg posato sul terreno naturale o su bonifico, e per il materiale 20-100 mm posato sul bonifico o sul terreno naturale.

Laddove non è verificata la regola dei filtri, si prevede la posa in opera di un geotessile, che deve avere caratteristiche di permeabilità e fori in relazione allo strato base, tali da rispettare i criteri di progetto definiti nel par. 5.4.3.

Per il dimensionamento del geotessile si fa riferimento ai calcoli già presentati in Tab. 8.14. per la banchina container, che definiscono le seguenti caratteristiche limite per il geotessile da adottare: O_{90}<130 µm e k_g>2,5·10^{-3} m/s.

8.5.6. Dimensionamento dei massi guardiani

I massi guardiani in corrispondenza della banchina rinfuse sono stati dimensionati con riferimento alle onde di progetto riassunte nel par.7.1.1 e secondo il metodo di calcolo presentato nel par. 8.3.

TAB. 8.23 - DIMENSIONAMENTO DEI MASSI GUARDIANI - BANCHINA RINFUSE

tratto	Curva di riferimento	H_s	h_b	h_s	h_b/h_s	t'/H_s	t'_{min}	$t_{progetto}$	$l_{progetto}$	$b_{progetto}$	Masso Tipo
	(Fig. 8.4)	(m)	(m)	(m)	(-)	(-)	(m)	(m)	(m/s)	(m)	
Spigolo container-rinfuse	head	5	16,5	28	0,59	0,24	1,2	1,2	4	2,5	3
Cassoni emersi rinfuse	trunk	4,4	16,5	26	0,63	0,19	0,84	1	3	2,5	2

Dal dimensionamento si definiscono due geometrie di massi già adottate in corrispondenza della banchina container, e per le quali si sono dimensionati i seguenti fori per lo scarico delle sottopressioni indotte dalle onde:

TAB. 8.24 - MASSI GUARDIANI - DIMENSIONAMENTO AREA FORI

Masso tipo	Diametro fori	Numero fori	Area totale fori	Area Masso	A_{fori}/A_{masso}
	m	(n°)	(m^2)	(m^2)	%
2	0,5	4	0,79	7,50	10,5%
3	0,5	5	0,98	10,00	9,8%

Si sottolinea che anche in questo caso ai fori per lo sfogo delle sottopressioni deve essere applicata una griglia metallica con maglia esagonale tipo 60x80 mm per evitare la fuoriuscita del materiale granulare sopra il quale vengono posati i massi guardiani.

La planimetria in Fig. 8.8 illustra la disposizione dei tre tipi di massi guardiani qui dimensionati.

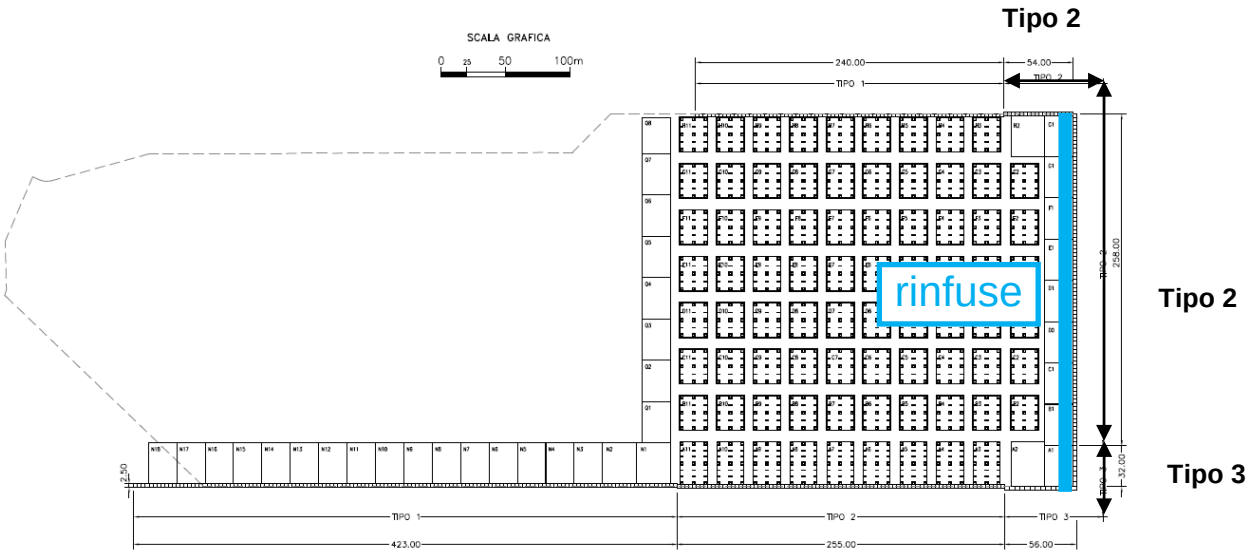


FIG. 8.8 - DISPOSIZIONE PLANIMETRICA DEI MASSI GUARDIANI - BANCHINA RINFUSE

8.6. Protezione fondali davanti alla Banchina Petroli

8.6.1. Tipologia e larghezza della protezione

Per i fondali antistanti la banchina petroli si è scelto di adottare una protezione in materassi riempiti di calcestruzzo (in rosa nella Fig. 8.9), ancorati lungo il lembo esterno da una berma in massi naturali (in giallo nella Fig. 8.9).

La larghezza della protezione dei fondali, 25 m, è stata definita in relazione all'esigenza di assicurare la stabilità d'insieme del sistema terreno di fondazione-strutture (nel rispetto pertanto dei coefficienti di sicurezza previsti da normativa) e nel contempo di limitare i cedimenti delle strutture entro il limite previsto per garantire la funzionalità dell'opera in esercizio.

Come evidenziato in Tab. 8.25 si è potuto constatare che la larghezza della protezione ottenuta sulla base dei criteri di stabilità d'insieme risulta congruente con quanto suggerito in letteratura in relazione all'azione delle onde e delle correnti indotte dalle eliche delle navi, presentate nel par.5.3.

TAB. 8.25 - LARGHEZZA DELLA PROTEZIONE DEI FONDALI - BANCHINA PETROLI

Sezione	B (Ottomana)	D	$L_{p,eliche} = B/2 + D + 5$ m	L_{onda}	$L_{p,onde}=1/4\ L_{onda}$	$L_{adottato}$
da - a	(m)	(m)	**(m)**	(m)	**(m/s)**	**(m)**
L1-M2	27,4	3,5	**22,2**	16	**4**	**25**

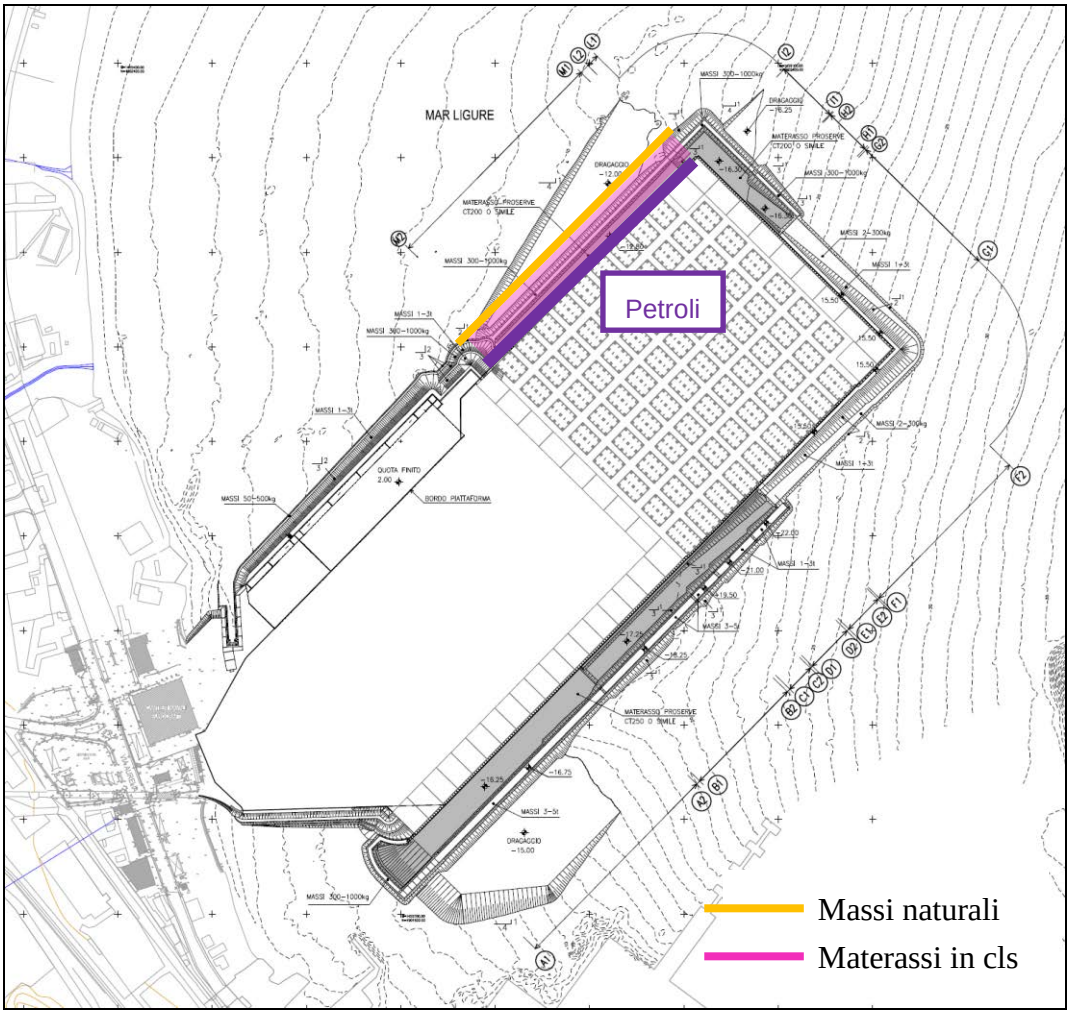


FIG. 8.9 - BANCHINA PETROLI - PROTEZIONE DEI FONDALI IN MATERASSI CON BERMA DI FISSAGGIO IN MASSI NATURALI

8.6.2. Dimensionamento materasso in cls

Il materasso a protezione del fondale antistante la banchina è soggetto sia all'azione delle onde che all'azione delle eliche, principali e trasversali. Tuttavia, confrontando le velocità sul fondale presentate nel capitolo 7 indotte dalle due forzanti, risulta evidente che i carichi relativi alle onde siano modesti rispetto a quelli indotti dalle eliche, e siano quindi non determinanti al fine del dimensionamento.

Qui di seguito viene presentato il calcolo per la definizione dello spessore del materasso in corrispondenza della zona antistante la banchina, con riferimento al metodo di calcolo proposto da Hawkswood et al. (2014, vedi par.8.1.1), che mette in relazione la suzione indotta dall'elica principale sul fondale con lo spessore minimo richiesto.

TAB. 8.26 - SPESSORE MATERASSO PER EFFETTO DELLA SUZIONE INDOTTA DALL'ELICA PRINCIPALE (HAWKSWOOD ET AL., 2014) - BANCHINA PETROLI

ELICA PRINCIPALE Spessore materasso per azione delle eliche principali - Trattazione di Hawkswood et al. (2014)							
Sezione	Nave	Pescaggio	P	Sommità materasso	S_p	S.F.	$D_{min} = \frac{S.F. \cdot S_p \cdot I_Q}{\gamma_D \Delta g}$
da - a		(m)	$\%P_{max}$	(m.s.l.m.m)	(kN/m^2)		**(mm)**
L1-M2	Ottomana	9,96	25%	12,8	≈0,1	2,0	**20**

Per completezza si definiscono gli spessori anche con riferimento alla trattazione di Pilarczyk (2000, vedi par.8.1.1), che mette in relazione la velocità massima agente sul materasso con lo spessore minimo necessario a renderlo stabile.

TAB. 8.27 - SPESSORE MATERASSO PER EFFETTO VELOCITÀ DELLA CORRENTE INDOTTA DALL'ELICA PRINCIPALE (PILARCZYK, 2000) - BANCHINA PETROLI

ELICA PRINCIPALE Dimensionamento materasso per azione delle eliche - Trattazione di Pilarczyk (2000)							
Sezione	Nave	Pescaggio	P	Sommità materasso	U_0	$U_{b,max}$	**D_{min}**
da - a		(m)	$\%P_{max}$	(m.s.l.m.m)	(m/s)		**(mm)**
L1-M2	Ottomana	9,96	25%	12,8	6,1	3,87	**92**

Il materasso, oltre ad essere soggetto all'azione dell'elica principale è soggetto anche all'azione dell'elica trasversale di prua della nave di progetto. Per definire lo spessore minimo in grado di garantire la stabilità del materasso alle velocità in-

dotte dall'elica trasversale (vedi par.7.2.3) si fa riferimento sempre al metodo di Pilarczyk (2000, vedi par.8.1.1). Il risultato del dimensionamento è presentato nella tabella seguente.

TAB. 8.28 - SPESSORE MATERASSO PER EFFETTO DELLA VELOCITÀ DELLA CORRENTE INDOTTA DALLE ELICHE TRASVERSALI (PILARCZYK, 2000) - BANCHINA PETROLI

PROPULSORI TRASVERSALI Dimensionamento materasso per azione delle eliche - Trattazione di Pilarczyk (2000)					
Sezione	Nave	Elica	P	$U_{t,bmax}$	**D_{min}**
da - a			$\%P_{max}$	(m/s)	**(mm)**
M1-M2	Ottomana	Prua	100%	3,55	**77**

Secondo quanto definito nel capitolo dei criteri di progetto, qualora il materasso sia posato in zone dragate, come è il caso dei fondali antistanti la banchina petroli, esso deve avere uno spessore minimo di 200 mm. Questo per garantire che il materasso sia in grado di resistere ad eventuali azioni meccaniche ad opera degli utensili utilizzati durante gli interventi di manutenzione del dragaggio.

Nella tabella seguente si riassumono i risultati del dimensionamento del materasso previsto a protezione della banchina petroli.

TAB. 8.29 - SPESSORE DEL MATERASSO ADOTTATO NEL PROGETTO - BANCHINA PETROLI

Sezione	Nave	Pescaggio	Sommità materasso	Tipo di materasso	**$D_{adottato}$**
da - a		(m)	(m.s.l.m.m)		**(mm)**
L1-M2	Ottomana	9,96	12,80	A spessore costante (CT)	**200**

Come nel caso banchina container, anche in questo caso i materassi lungo la fascia dove posano su materiale granulare (20-100 mm e 2-300 kg) sono provvisti di

fori per sfogare le sottopressioni che si possono generare all'interno del materiale di imbasamento per effetto dei moti di filtrazione.

La geometria della maglia di fori è definita nei disegni di progetto e nel Capitolato Speciale, mentre il diametro Ø dei fori viene determinato in base ai criteri di progetto presentati in Tab. 5.8. Dal dimensionamento già presentato in Tab. 8.7., risulta che Ømax=104 mm, che porta alla scelta di un diametro di progetto Øadottato=90mm.

8.6.3. Dimensionamento berma di fissaggio dei materassi

Come la protezione in materassi, anche le berme di ancoraggio in scogli sono soggette sia all'azione delle eliche delle navi che a quelle delle onde. Tuttavia, anche in questo caso i carichi indotti dalle onde sono modesti se confrontati con quelli indotti dalle eliche, e vengono quindi non considerati (vedi capitolo 7 per il confronto delle velocità).

Definita la massima velocità della corrente agente sulle berme, $U_{b,max}$ (par.7.2.3), attraverso il diagramma in Fig. 8.2 è possibile mette in relazione $U_{b,max}$, con il minimo diametro in grado di garantire la stabilità.

Nella tabella seguente sono riportati i diametri minimi necessari e le categorie di massi di progetto adottate.

TAB. 8.30 - DIMENSIONAMENTO DEI MASSI PER LE BERME DI ANCORAGGIO DEI MATERASSI - BANCHINA PETROLI

ELICA PRINCIPALE D_{n50} minimo per la berma di ancoraggio del materasso									
Sezione	Nave	Pescaggio	P	Sommità protezione	$U_{bmax,eliche}$	$D_{50s,min}$	$D_{n50,\ min}$	$D_{n50,\ adottato}$	**Categoria di massi di progetto**
da - a		(m)	%Pmax	(m/s)	(m/s)	(mm)	(mm)	(mm)	**kg**
L1-L2	Ottomana	9,96	25%	-16,75	1,86	373	301	619	**300-1000**
M1-M2	Ottomana	9,96	25%	-12,8	2,85	166	133	619	**300-1000**

Infine si prevede di posare i massi di ancoraggio dei materassi su 50 cm di materiale 2-300 kg (a sua volta posato su geotessuto), allo scopo di di creare uno strato filtro tra i massi di protezione e il terreno naturale.

8.6.4. Verifica degli strati filtro

La verifica della stabilità degli strati di filtro è stata eseguita in conformità alle Istruzioni Tecniche per la progettazione delle dighe frangiflutti edite dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (1996), adottando la regola dei filtri di Terzaghi già presentata nei criteri di progetto (par.5.4.1).

$$\frac{d_{15s}}{d_{15i}} < 20-25 \qquad \text{e} \qquad \frac{d_{15s}}{d_{85i}} < 4-5$$

Con riferimento alle sezioni di progetto già presentate nel par.6.2.1, nella Tab. 8.13 sono presentate le verifiche degli strati filtro per le categorie di massi utilizzati nell'ambito della protezione della banchina petroli. I pedici s ed i si indicano rispettivamente il diametro dello strato di granulometria superiore (strato filtro) e quello di granulometria inferiore (strato base).

TAB. 8.31 - VERIFICA DELLO STRATO FILTRO - BANCHINA PETROLI

Categoria massi superiori, s	Categoria massi inferiori, i	D_{15s}	D_{15i}	D_{85i}	D_{15s} / D_{85i}	D_{15s} / D_{15i}
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
300-1000 kg	2-300 kg	516	140,4	440,0	1,4	4,4
2-300 kg	L1 - naturale	140,4	0,003	0,1	1404,2	51063,4
2-300 kg	Bonifico	140,4	0,3	17,0	8,3	476,0
2-300 kg	20-100 kg	140,4	37,5	97	1,4	3,7
20-100 mm	L1 - naturale	37,5	37,5	0,1	375	13636
20-100 mm	Bonifico	37,5	0,3	17,0	2,2	127,1
					<4-5	**<20:25**

Come si osserva dalla Tab. 8.31 la regola dei filtri è sempre verificata tranne che per il materiale 2-300 kg posato sul, e per il materiale 20-100 mm posato sul terreno naturale o su bonifico bonifico.

Laddove non è verificata la regola dei filtri, si prevede la posa in opera di un geotessile non tessuto, che deve avere caratteristiche di permeabilità e fori in relazione allo strato base tali da rispettare i criteri di progetto definiti nel par. 5.4.3.

Per il dimensionamento del geotessile si fa riferimento ai calcoli già presentati in Tab. 8.14. per la banchina container, che definiscono le seguenti caratteristiche limite per il geotessile da adottare: $O_{90}<130$ µm e $k_g>2{,}5\cdot10^{-3}$ m/s.

8.6.5. Dimensionamento dei massi guardiani

In base al metodo di calcolo per il dimensionamento dei massi guardinani presentato nel par. 8.3, risulta che il rapporto tra $h_b/h_s\approx1$ e la modesta altezzza dell'onda

di progetto in corrispondenza della banchina Petroli (H_s=1,65 m,vedi Fig. 7.1 e Tab. 7.1) non rendano necessaria la posa in opera di massi guardiani. Si è scelto tuttavia di proteggere in via cautelativa anche in questo caso il piede dei cassoni con il minore dei massi previsti nella prassi progettuale corrente. Si tratta del masso 'tipo 1', già adottato lungo la banchina container nel tratto dei cassoni reggispinta , avente le caratteristiche geometriche presentate nella tabella seguente.

TAB. 8.32 - DIMENSIONAMENTO DEI MASSI GUARDIANI - BANCHINA PETROLI

Masso Tipo	$t_{progetto}$	$l_{progetto}$	$b_{progetto}$	Diametro fori	Numero fori	Area totale fori	Area Masso	A_{fori}/A_{masso}
	(m)	(m/s)	(m)	m	(n°)	(m^2)	(m^2)	%
1	0,8	3	2,5	0,5	4	0,79	7,50	10,5%

Si sottolinea che anche in questo caso ai fori previsti per lo sfogo delle sottopressioni deve essere applicata una griglia metallica con maglia esagonale tipo 60x80 mm per evitare la fuoriuscita del materiale granulare sopra il quale vengono posati i massi guardiani.

La planimetria in Fig. 8.10 illustra la disposizione del masso di tipo1 in corrispondenza della banchina petroli.

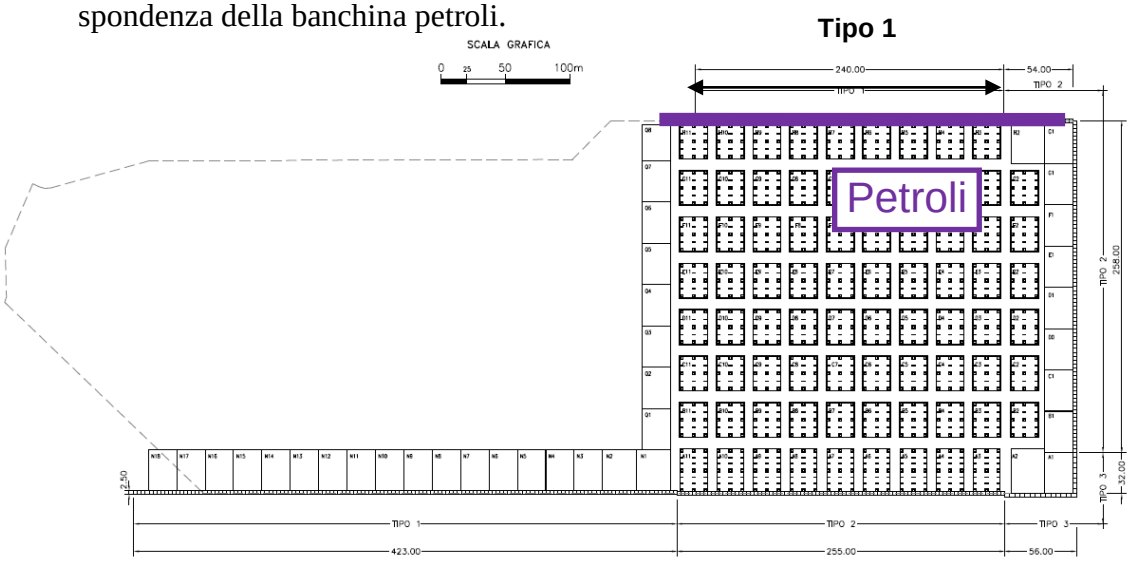


FIG. 8.10 - DISPOSIZIONE PLANIMETRICA DEI MASSI GUARDIANI - BANCHINA PETROLI

8.7. Protezione fondali sotto la piattaforma

Per l'individuazione delle aree da proteggere e della tipologia di protezione da adottare al di sotto della piattaforma si è fatto riferimento ai risultati emersi dalle prove su modello fisico in merito alla stabilità dei fondali per le aree perimetriali e dalle verifiche di stabilità del materiale di imbasamento dei cassoni soggetto all'azione delle onde e delle eliche mediante trattazioni empirico-sperimentali di letteratura.

Di seguito vengono prima presentati i risultati ottenuti dalle prove su modello fisico e e quindi i calcoli per il dimensionamento della protezione.

8.7.1. Risultati del modello fisico in canaletta

Il modello, in scala 1:60 ha riprodotto due sezioni longitudinali tipo dell'opera, in corrispondenza delle quali il fondale naturale al piede del primo cassone presenta rispettivamente le profondità di -16 m (sez. A-A) e -23 m (sez. B-B). Si fa notare a riguardo che il modello fisico ha riprodotto una configurazione tipologica delle opere deifferente per quanto riguarda la testata della piattaforma. Tuttavia i risultati ottenuti possono essere comunque di supporto per il dimensionamento della protezione nelle aree perimetrali della banchina container dove sono ubicati i cassoni sommersi.

In canaletta sono stati poi riprodotti 2500 m circa di mare aperto con batimetrie naturali, per permettere la propagazione dell'onda dal largo verso le opere. La planimetria dell'impalcato e le sezioni longitudinali testate nel modello sono riportate rispettivamente in Fig. 8.11 e Fig. 8.12.

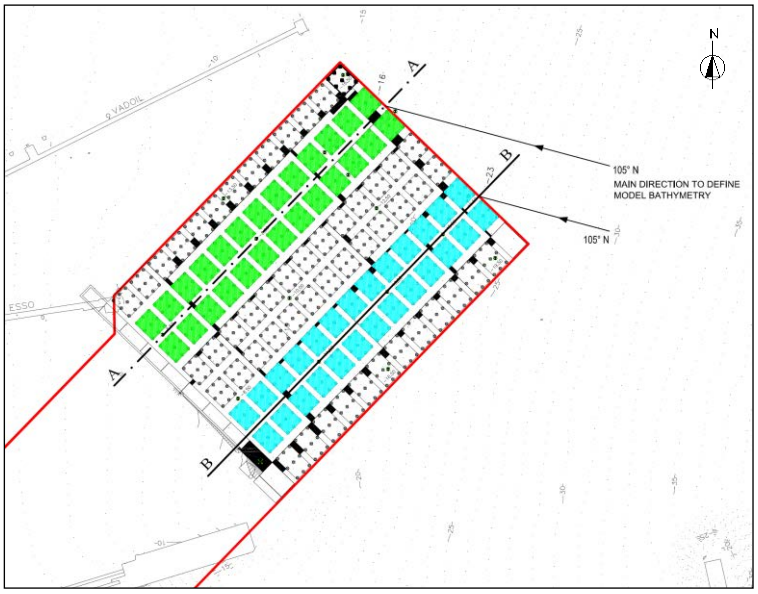


FIG. 8.11 - PLANIMETRIA DELL'IMPALCATO CON L'UBICAZIONE DELLE DUE SEZIONI LONGITUDINALI TESTATE NEL MODELLO FISICO

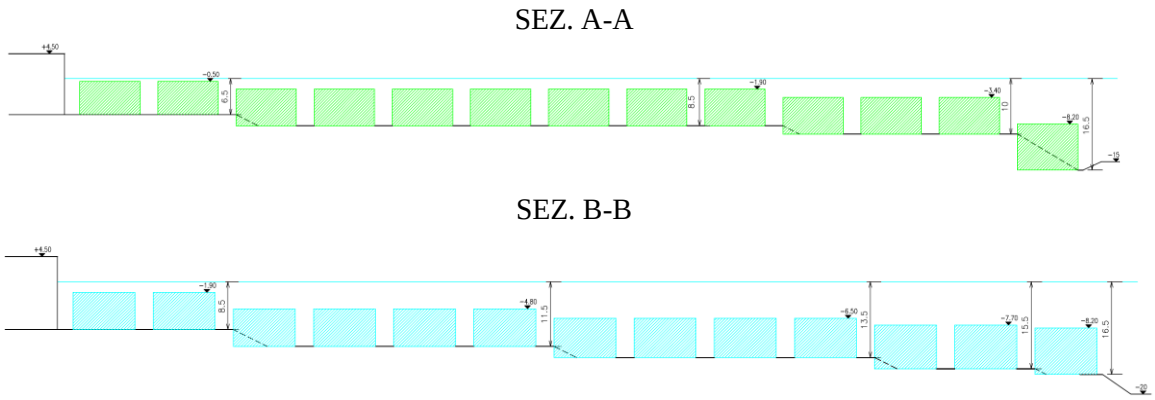


FIG. 8.12 - SEZIONI LONGITUDINALI DELL'IMPALCATO

Il programma completo dei test eseguiti, in riferimento alle due sezioni analizzate, è riportato in Tab. 8.33, ciascun test è stato caratterizzato da una durata di 1000 onde.

TAB. 8.33 - PROGRAMMA DEI TEST ESEGUITI - SEZ. A-A E SEZ. B-B

Test Series	Test number	H_s (m)	Measurements
A_0	01	2.5	W
	02	3.3	W
	03	4.0	W
	04	5.0	W
A_1	05	2.5	F/S/O/W
	06	3.3	F/S/O/W
	07	4.0	F/S/O/W
	08	5.0	F/S/O/W

Test Series	Test number	H_s (m)	Measurements
B_0	09	2.5	W
	10	3.3	W
	11	4.0	W
	12	5.0	W
B_1	13	2.5	F/S/O/W
	14	3.3	F/S/O/W
	15	4.0	F/S/O/W
	16	5.0	F/S/O/W

F = misura forze
S = verifica stabilità fondale
O = misura tracimazione
W = misura onde/forze

I Test A_0 e B_0, eseguiti dopo la calibrazione delle condizioni ondose e con la struttura costituita solo dai cassoni sommersi e dai pali (senza la soletta dell'impalcato), hanno permesso di valutare l'altezza e l'elevazione d'onda lungo lo sviluppo longitudinale dell'opera. Le altezze d'onda sono state misurate tramite 32 sonde, disposte una in corrispondenza della zona di calibrazione delle onde (sonda n.1) e le altre lungo lo sviluppo dell'opera, nelle posizioni ritenute maggiormente significative ai fini dell'analisi delle trasformazioni dell'onda dovute all'interazione con la struttura (pali e cassoni sommersi). La collocazione delle sonde lungo l'opera è presentata nella planimetria di Fig. 8.13.

La variazione dell'onda lungo lo sviluppo della struttura è risultata pressoché analoga per tutte le condizioni ondose testate e in riferimento ad entrambe le sezioni analizzate.

Dai test eseguiti si evince chiaramente che l'altezza d'onda si riduce drasticamente dopo i primi due cassoni di fondazione, in parte per il frangimento determinato dalla riduzione di profondità, in parte per l'interferenza con la sommità dei cassoni di fondazione.

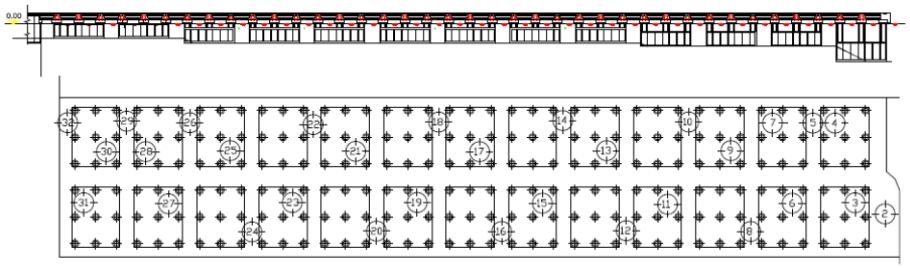


FIG. 8.13 - SEZIONE LONGITUDINALE DELLA STRUTTURA E PLANIMETRIA CON INDICAZIONE DELLA COLLOCAZIONE DELLE SONDE

A titolo esemplificativo, nella Fig. 8.14, si riportano l'andamento dell'altezza e dell'elevazione d'onda lungo lo sviluppo della struttura, relativamente alla sez. A-A, per la condizione ondosa avente un tempo di ritorno di 250 anni (Hs = 5 m).

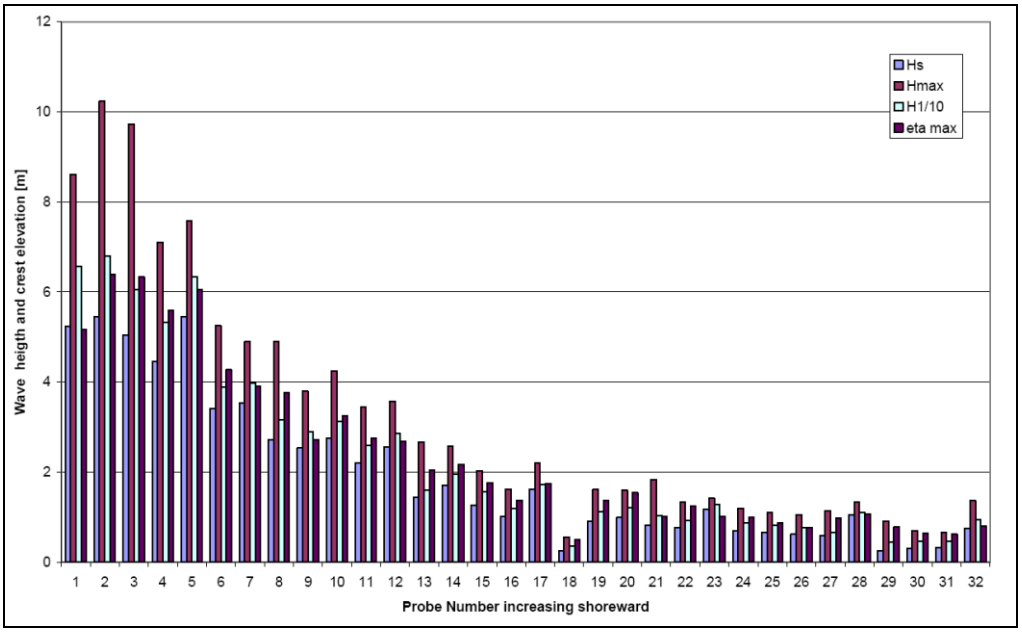


FIG. 8.14 - TRASFORMAZIONE DELL'ONDA SOPRA LA STRUTTURA (SENZA IMPALCATO) - TEST A_0-04, $H_{S,OPERA}$ = 5.0 M

Sempre nell'ambito delle prove su modello fisico sono stati investigati gli effetti del moto ondoso sul materiale d'imbasamento dei cassoni.

Le verifiche di stabilità del materiale roccioso di imbasamento (massi naturali di 2-300 kg) sono state condotte sia con i test A01 che B01. Un leggero strato di vernice è stato steso sullo strato superiore delle rocce nella fascia della prima fila e mezza di cassoni, rendendo facile identificare lo spostamento dei massi. Prima e dopo ogni simulazione è stata fotografata la posizione dei massi senza risistemarli tra una prova e la successiva. Ne deriva che i danni registrati alla fine della serie di test si intendono comulativi degli effetti di tutte le simulazioni.

Dalle simulazioni, sia sulla sezione A-A che sulla sezione B-B è emerso che per altezze d'onda fino a 4 m, i danni al fondale sono modesti ma diventano importanti per l'onda con Hs= 5m. Si è osservato inoltre che le zone più soggette al danno sono i piedi e le sommità delle scarpate di imbasamento dei cassoni. Nelle Tab. 8.34 e Tab. 8.35 si presentano i risultati ottenuti dal modello fisico.

TAB. 8.34 - RISULTATI DEI TEST SULLA STABILITÀ DEI FONDALI - SEZ. A-A

Serie	Numero test	H_s	Danno cumulativo
		(m)	(%)
A1	05	2,5	0,3
	06	3,3	1,0
	07	4,0	2,6
	08	5,0	13,9

TAB. 8.35 - RISULTATI DEI TEST SULLA STABILITÀ DEI FONDALI - SEZ. B-B

Serie	Numero test	H_s	Danno cumulativo
		(m)	(%)
B1	13	2,5	0,5
	14	3,3	2,6
	15	4,0	3,9
	16	5,0	9,0

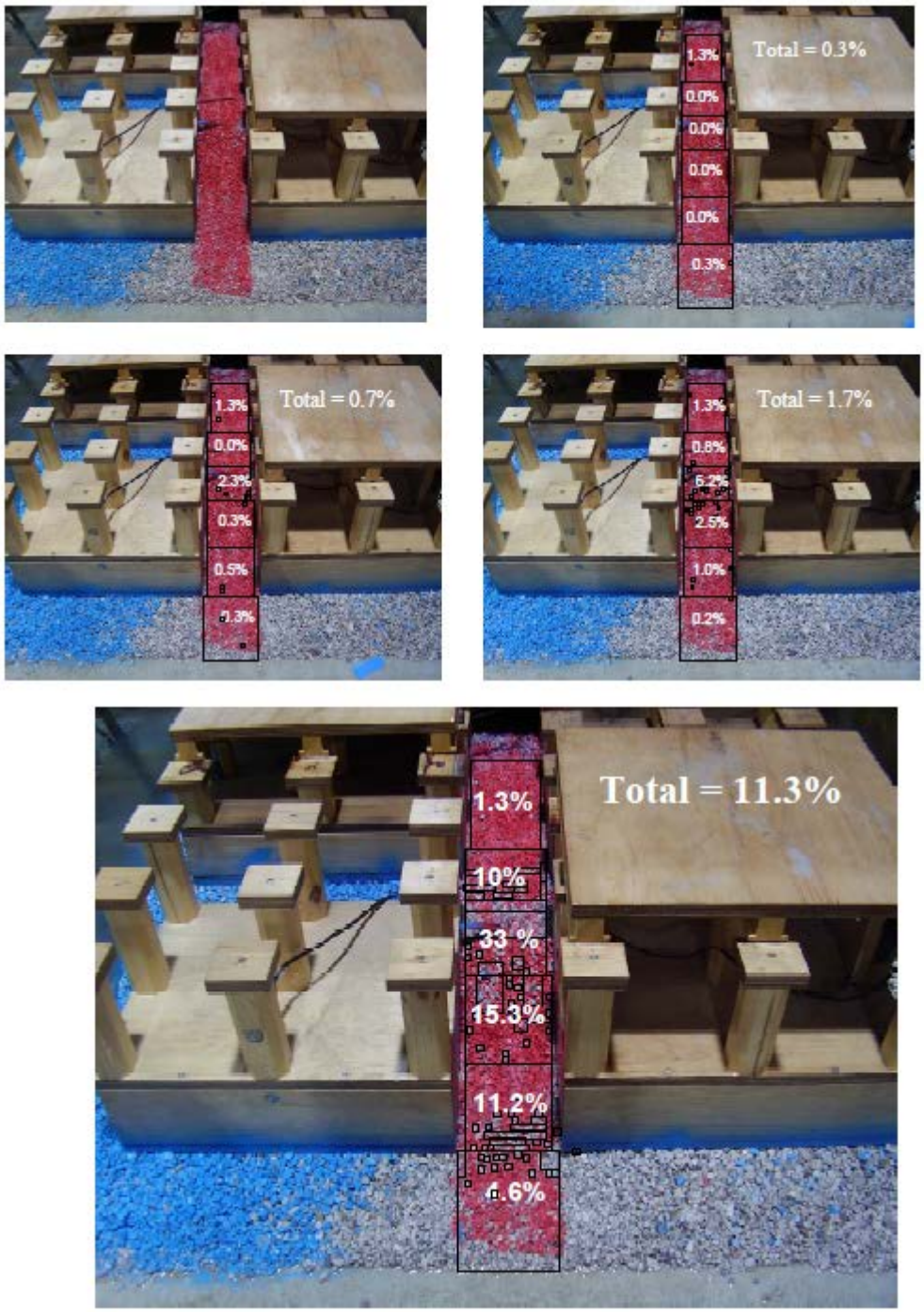


FIG. 8.15 - ANALISI DI STABILITÀ DELLA ROCCIA DI FONDAZIONE: CONFRONTO TRA LA CONDIZIONE INALTERATA PRIMA DEL TEST (IN ALTO SINISTRA) E IL DANNO DIFFERENZIALE IN SEGUITO ALL'APPLICAZIONE DELL'ONDA. SEZ. A-A

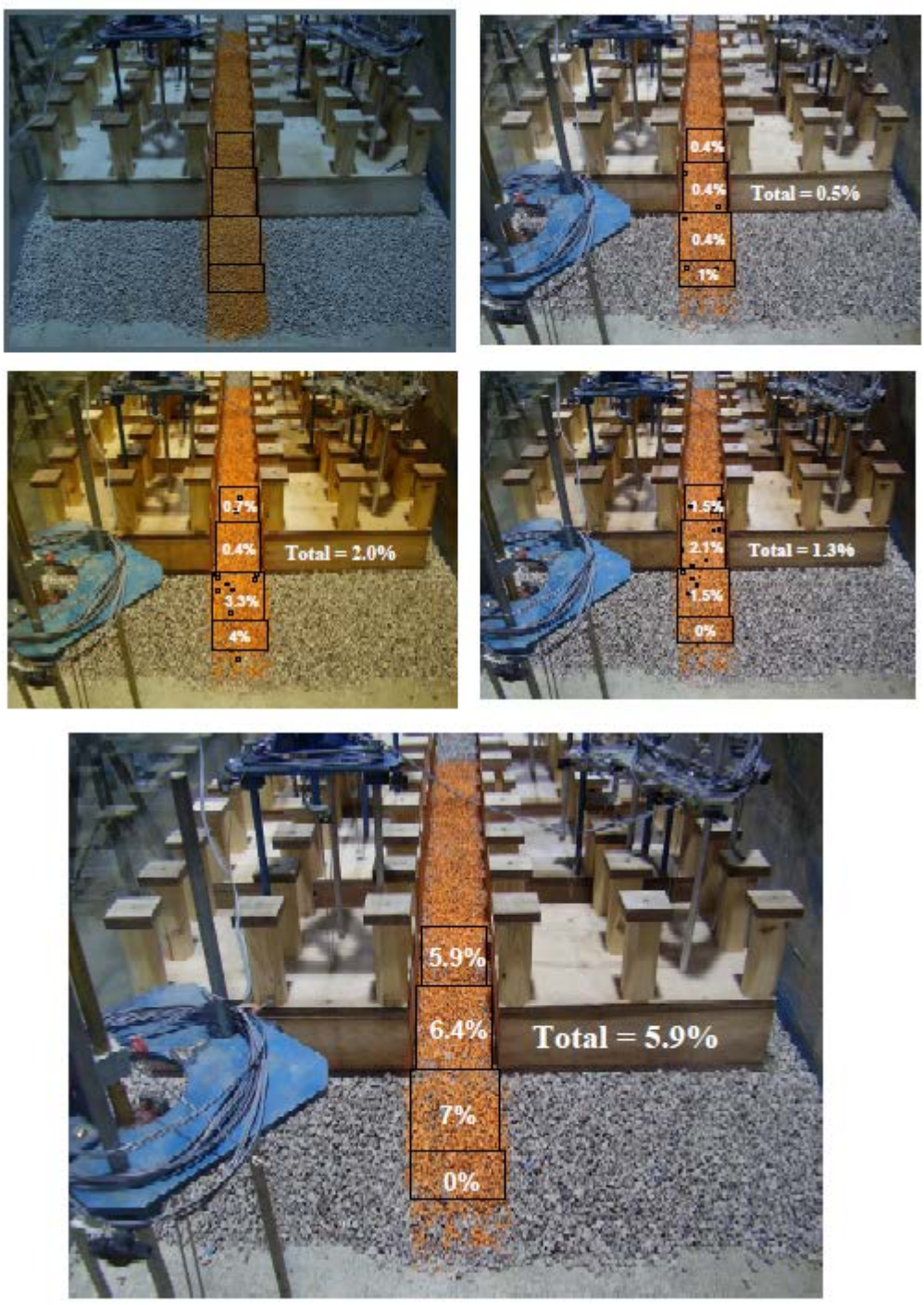


FIG. 8.16 - ANALISI DI STABILITÀ DELLA ROCCIA DI FONDAZIONE: CONFRONTO TRA LA CONDIZIONE INALTERATA PRIMA DEL TEST (IN ALTO SINISTRA) E IL DANNO DIFFERENZIALE IN SEGUITO ALL'APPLICAZIONE DELL'ONDA. SEZ. B-B

8.7.2. Aree perimetrali

Dai test per la valutazione della stabilità del materiale di imbasamento dei cassoni (2-300 kg) eseguiti sul modello fisico è emerso che, per le onde di progetto caratterizzate da un tempo di ritorno di 250 anni (Hs=5 m), questo materiale non può essere considerato stabile. In particolare si è osservato che i danni registrati al materiale d'imbasamento interessano specialmente la prima fila e mezza di cassoni e si localizzano principalmente in corrispondenza della sommità delle scarpate, evidenziando la necessità di proteggere il fondale in corrispondenza delle aree perimetrali sotto la piattaforma con materiale di categoria superiore. Queste valutazioni sulla stabilità del materiale 2-300 kg sono applicabili a maggior ragione al materiale 20-100 mm.

La necessità di proteggere le aree peritmetrali sotto la piattaforma viene confermata anche dalla verifica di stabilità del materiale al piede dei cassoni condotta con il metodo di Tanimoto presentato nel par.8.2.2. Si è assunto come h' la quota d'imbasamento del cassone, come B_m il valore 4.5 m uguale a circa la metà della larghezza dei varchi tra i cassoni e come angolo d'incidenza delle onde β cautelativamente 90°.

Nella tabella seguente, con riferimento alle onde di progetto già presentate nel par.7.1.1, si riportano i parametri caratteristici dell'onda di progetto (Tr=250 anni) per le prime due file di cassoni in funzione della loro quota e materiale d'imbasamento e il diametro minimo necessario ottenuto dalle verifiche.

Oltre ad essere soggetto all'azione delle onde, il materiale d'imbasamento dei cassoni della prima fila è soggetto anche all'azione delle eliche delle navi di progetto.

Si assume che il fondale nei varichi della la prima fila di cassoni venga investito dalla velocità della corrente indotta dalle eliche principali delle navi in disormeggio, presentata nel par.7.2.3, e qui riassunta in Tab. 8.37.

TAB. 8.36 - DIMENSIONAMENTO PROTEZIONE DEL FONDALE ALL'AZIONE DELLE ONDE - AREE SOTTO LA PIATTAFORMA PERIMETRALI

Banchina	Quota imbas, cassoni (h')			Imbasamento in 20-100 mm D_{n50}=65mm M_{50}=1,2 kg		Imbasamento in 2-300 kg D_{n50}=300 mm M_{50}=70 kg	
			Tp	H_s	**$D_{n50\ min}$**	H_s	**$D_{n50\ min}$**
	(m s,l,m,m)		(s)	(m)	**(mm)**	(m)	**(mm)**
Container	-16,50	1° fila	9,8	3,5	**327**	5,0	**663**
	-11,00	2°fila	9,8	-	-	3,5	**556**
	-13,00	2° fila	9,8	-	-	4,3	**675**
Petroli	-13,00	1° fila	9,8	**1,6**	**94**	-	-
			3,5	1,65	**12**	-	-
	-9,50	2° fila	9,8	**1,6**	**142**	-	-

Si assume inoltre che il flusso generato dalle eliche trasversali incida con la stessa velocità con cui incide sulla parete frontale del cassone anche la parete laterale, andando a indurre un carico sul fondale nei varchi tra i cassoni equivalente a quello indotto sui fondali antistanti le banchine.

In base ai criteri di progetto presentati nel par.5.1, secondo i quali sia la Emma Maersk che la Ottomana utilizzano le eliche trasversali al 100%, si ha che le velocità indotte sul fondo sono quelle presentate in Tab. 7.12. Con riferimento al metodo per il calcolo del masso minimo in grado di garantire la stabilità (PIANC WG22, 1997) presentato nel par.8.2.1, si ottengono i seguenti diametri minimi in funzione della velocità della corrente indotta dall'elica sul fondale nei varchi della prima fila di cassoni:

TAB. 8.37 - VELOCITÀ DI PROGETTO INDOTTE DALLE ELICHE TRASVERSALI SULLA PROTEZIONE AL PIEDE E DIAMETRO MINIMO RICHIESTO PER LA STABILITÀ

ELICHE PRINCIPALI E TRASVERSALI D_{n50} minimo per la protezione sotto la piattaforma - aree perimetrali				
Banchina	Nave	Elica	$U_{b,max}$	**$D_{n50,min}$**
			(m/s)	**(mm)**
Container	Emma Maersk	Trasversale Poppa	1,18	**61**
	Emma Maersk	Trasversale Prua	1,24	**66**
	Emma Maersk	Principale	4,6	**762**
Petroli	Ottomana	Trasversale Prua	3,55	**456**
	Ottomana	Principale	3,8	**524**

TAB. 8.38 - DIMENSIONAMENTO PROTEZIONE DEL FONDALE ALL'AZIONE DELLE ONDE E DELLE ELICHE - AREE SOTTO LA PIATTAFORMA PERIMETRALI

Banchina	Quota imbasamento cassoni (h')		$D_{n50,min\ ONDA}$	$D_{n50,min\ ELICA}$
	(m s,l,m,m)		(mm)	(mm)
Container	-16,50	1° fila	675	**762**
	-13,00	2° fila	**470**	-
	-11,00	2°fila	**556**	-
Petroli	-13,00	1° fila	94	**524**
	-9,50	2° fila	**142**	-

Si osserva che per la banchina container i massi minimi necessari per resistere sia all'azione delle eliche che a quella delle onde sono di dimensioni superiori a 760 mm, mentre per la banchina petroli, sono necessari massi di dimensioni superiori a 456 mm (Tab. 8.38). Tuttavia posare questa categoria di massi nei varchi tra i

cassoni risulta poco agevole e con il rischio di danneggiare i cassoni sommersi. Inoltre sarebbe necessario mettere in opera anche uno strato filtro laddove l'imbasamento dei cassoni è realizzato in materiale 20-100 mm; questo implicherebbe di posare uno spessore totale di protezione sotto la piattaforma che in corrispondenza della banchina container di 2,5 m. Si è quindi scelto di prevedere una protezione in materassi riempiti di calcestruzzo di spessore limitato (0,20 m).

In corrispondenza della banchina container, il carico dimensionante è quello indotto dall'elica principale che si è assunto essere significativo in corrispondenza della prima fila di cassoni. Tuttavia, in corrispondenza di questa banchina si è visto come anche le onde hanno un effetto importante sulla stabilità del materiale d'imbasamento per questo si è scelto di estendere la protezione fino a metà della seconda fila di cassoni, in linea con quando suggerito anche dai test su modello fisico.

Per la banchina petroli invece il materasso è stato previsto solo in corrispondenza della prima fila, ovvero dove l'azione delle eliche è significativa. Il fondale in corrispondenza dei varchi tra i cassoni della seconda fila, realizzato in materiale 20-100 mm non stabile sotto l'azione delle onde, viene protetto con 1 m di in materiale 2-300 kg, che si è verificato essere stabile all'azione del moto ondoso in questa zona.

Per la banchina container si prevede la posa in opera di un materasso riempito di cls avente spessore 200 mm, mentre per quella petroli lo spessore scelto è 150 mm. I materassi vengono verificati alla velocità sul fondo indotta dall'elica trasversale e dell'elica principale, secondo la trattazione di Pilarczyk presentata nel par.8.1; i risultati sono riassunti nella tabella qui sotto.

TAB. 8.39 - SPESSORE MATERASSO PER EFFETTO VELOCITÀ DELLA CORRENTE INDOTTA DALL'ELICA PRINCIPALE E TRASVERSALE (PILARCZYK, 2000) - AREE PERIMETRALI SOTTO LA PIATTAFORMA

PROPULSORI PRINCIPALI E TRASVERSALI					
Sezione	Nave	Elica	$U_{t,bmax}$	Spessore minimo	**Spessore adottato**
da - a			(m/s)	(mm)	**(mm)**
C1-E2	Emma Maersk	Trasversale Poppa	1,18	130	**200**
F1-F2	Emma Maersk	Trasversale Prua	1,24		
C1-E2	Emma Maersk	Principale	4,6		
M1-M2	Ottomana	Trasversale Prua	3,55	90	**150**
M1-M2	Ottomana	Principale	3,81		

8.7.3. Aree interne

Nelle aree interne alla piattaforma la stabilità del materiale d'imbasamento dei cassoni è stata verificata ai carichi indotti dal moto ondoso secondo quanto proposto da Tanimoto e presentato nel par.8.2.2. Per il calcolo si è assunto un angolo di incidenza delle onde β cautelativamente uguale 90°.

Nella tabella seguente, con riferimento al moto ondoso già presentato nel par.7.1.1, si riportano i parametri caratteristici dell'onda di progetto (Tr=250 anni) per i cassoni nelle aree interne alla piattaforma in funzione della loro quota e materiale d'imbasamento, e il diametro minimo richiesto per la stabilità.

TAB. 8.40 - VERIFICA AL MOTO ONDOSO DEL MATERIALE D'IMBASAMENTO DEI CASSONI NELLE AREE INTERNE ALLA PIATTAFORMA

		Imbasamento in 20-100 mm D_{n50}=65mm, M_{50}=1,2 kg				Imbasamento in 2-300 kg D_{n50}=300 mm, M_{50}=70 kg		
Quota imbasamento cassoni (h')	T_p	H_s	$D_{n50\ min}$	**$D_{adottato}$**	**Categoria massi di progetto**	H_s	$D_{n50\ min}$	**$D_{adottato}$**
(m s,l,m,m,)	(s)	(m)	(mm)	**(mm)**		(m)	(mm)	**(mm)**
-16,5	9,8	1,0	27	**300**	**2-300 kg**	-	-	**Nessuna protezione**
-13,00	9,8	1,0	37	**300**	**2-300 kg**	1,5	83	**Nessuna protezione**
-11,00	9,8	2,4	266	**300**	**2-300 kg**	2,5	288	**Nessuna protezione**
-9,50	9,8	2,0	222	**300**	**2-300 kg**	2,3	293	**Nessuna protezione**

Si osserva che il materiale 2-300 kg è stabile sotto l'azione delle onde di progetto per tutte le profondità di imbasamento dei cassoni. Il materiale 20-100 mm invece non risulta stabile per la maggior parte dell'area in cui è previsto. Si è quindi scelto cautelativamente di proteggere con un metro di materiale 2-300 kg tutti i varchi tra i cassoni posati su materiale 20-100 mm.