



Autorità di Sistema Portuale  
del Mare Adriatico Orientale  
Porti di Trieste e Monfalcone

## PROGETTO AdSP n. 1951

*Estensione delle infrastrutture comuni per lo sviluppo del Punto Franco Nuovo nel porto di Trieste*

CUP: C94E21000460001

### Progetto di Fattibilità Tecnico Economica Fascicolo B – Elaborati di sviluppo complessivo

GRUPPO DI PROGETTAZIONE:		
arch. Gerardo Nappa	AdSP MAO	Responsabile dell'integrazione e Coordinatore per la Sicurezza in fase di Progettazione
arch. Sofia Dal Piva	AdSP MAO	Progettazione generale
arch. Stefano Semenic	AdSP MAO	Progettazione generale
ing. Roberto Leoni	BITECNO S.r.l.	Sistema di trazione elettrica ferroviaria
ing. Saturno Minnucci	MINNUCCI ASSOCIATI S.r.l.	Impianti speciali e segnalamenti ferroviari
ing. Dario Fedrigo	ALPE ENGINEERING S.r.l.	Progettazione strutturale oo.cc. ferrovia e strade
ing. Andrea Guidolin p.i. Furio Benci	SQS S.r.l.	Progettazione della sicurezza
ing. Sara Agnoletto	HMR Ambiente S.r.l.	Progettazione MISP e cassa di colmata
p.i. Trivellato, dott. G. Malvasi, dott. S. Bartolomei	p.i. Antonio Trivellato d.i.	Modellazione rumore, atmosfera, vibrazioni
dott. Gabriele Cailotto ing. Anca Tamasan	NEXTECO S.r.l.	Studio di impatto ambientale e piano di monitoraggio ambientale
ing. Sebastiano Cristoforetti	CRISCON S.r.l.s.	Relazione di sostenibilità
ing. Tommaso Tassi	F&M Ingegneria S.p.A.	Progettazione degli edifici pubblici nel contesto dell'ex area "a caldo"
ing. Michele Titton	ITS s.r.l.	Connessione stradale alla GVT
RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO: ing. Paolo Crescenzi		

NOME FILE: 6ML8_P_R_M-MAR_3AM_002_02_00.docx	SCALA: ---
TITOLO ELABORATO: <b>Mooring Analysis</b>	ELABORATO: <b>6ML8_P_R_M-MAR_3AM_002_02</b>

Rev.	Data	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato
00	01/02/2023	Definitivo	Esterno	S.Dal Piva	G.Nappa

	<p>Estensione delle infrastrutture comuni per lo sviluppo del Punto Franco Nuovo nel porto di Trieste - CUP: C94E21000460001</p> <p>Mooring Analysis</p>	<p>Pag. 1 di 31</p>
-----------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------

## Sommario

<b>1</b>	<b>PREMESSA</b>	<b>3</b>
1.1	SCOPO DELL'ATTIVITÀ	3
1.2	LOCALIZZAZIONE	3
1.3	CONTENUTI DEL PRESENTE DOCUMENTO	3
<b>2</b>	<b>DOCUMENTI DI RIFERIMENTO</b>	<b>6</b>
2.1	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI E NORMATIVI	6
<b>3</b>	<b>PRINCIPI ALLA BASE DELLA MOORING ANALYSIS</b>	<b>7</b>
3.1	PRINCIPI GENERALI	7
3.2	IPOTESI DEL CASO IN ESAME	8
3.3	MODELLO DI CALCOLO UTILIZZATO	8
<b>4</b>	<b>PARAMETRI DI INPUT</b>	<b>11</b>
4.1	CONDIZIONI METEOMARINE	11
4.1.1	<i>Livelli di marea</i>	11
4.1.2	<i>Velocità del vento</i>	11
4.1.3	<i>Onde</i>	13
4.1.4	<i>Velocità della corrente</i>	13
4.2	NAVE DI PROGETTO	13
4.2.1	<i>Geometria e caratteristiche della nave di progetto</i>	13
4.2.2	<i>Cime di ormeggio</i>	15
4.3	BANCHINA DI PROGETTO	16
4.3.1	<i>Bitte</i>	16
4.3.2	<i>Parabordi</i>	17
<b>5</b>	<b>DETERMINAZIONE DELL'ENERGIA DI IMPATTO DELLA NAVE DI PROGETTO E VERIFICA DEL PARABORDO</b>	<b>20</b>
<b>6</b>	<b>RISULTATI DELLE SIMULAZIONI</b>	<b>24</b>
6.1	PRESENTAZIONE DEI RISULTATI	24
6.2	DISCUSSIONE DEI RISULTATI	26
<b>7</b>	<b>CONCLUSIONI</b>	<b>28</b>
	<b>APPENDICE A – OPTIMOOR TECHNICAL NOTE</b>	<b>29</b>

	<p>Estensione delle infrastrutture comuni per lo sviluppo del Punto Franco Nuovo nel porto di Trieste - CUP: C94E21000460001</p> <p>Mooring Analysis</p>	<p>Pag. 2 di 31</p>
-----------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------

## Sommario figure

Figura 1: Posizione del nuovo Molo VIII nel contesto del porto di Trieste .....	4
Figura 2: Identificazione della banchina in esame sul lato Nord del nuovo Molo VIII .....	5
Figura 3: Layout della banchina con indicazione delle due navi di progetto .....	8
Figura 4: Schema delle forze e dei momenti dovuti al vento agenti sulla nave (vedi [Rif. 7]) .....	9
Figura 5: Posizione altimetrica della stazione di misura delle serie temporali di velocità del vento .....	12
Figura 6: Coefficiente di correzione per tenere conto della durata di riferimento della velocità di vento (vedi [Rif. 7]) .....	12
Figura 7: Vista laterale della nave di progetto (input da [Rif. 1]) .....	14
Figura 8: Illustrazione (in verde) dell'area esposta al vento in direzione laterale al di sopra del ponte principale e punti di uscita delle cime di ormeggio in pianta .....	14
Figura 9: Fotografie della nave di progetto ormeggiata (fonte: www.marinetraffic.com) .....	17
Figura 10: Layout della banchina con indicazione bitte (in rosso e in blu). .....	18
Figura 11: Sezione tipica della banchina con in evidenza la posizione dei parabordi.....	18
Figura 12: Vista 3D del fronte banchina.....	19
Figura 13: Curva deformazione-reazione parabordi SCN .....	19
Figura 14: Rosa dei venti di progetto .....	24
Figura 15: Risultato della mooring analysis Nave 1.....	25
Figura 16: Risultato della mooring analysis Nave 2.....	26

## Sommario tabelle

Tabella 1: Valori di velocità del vento di progetto .....	13
Tabella 2: Dati tecnici della nave di progetto. ....	15

	Estensione delle infrastrutture comuni per lo sviluppo del Punto Franco Nuovo nel porto di Trieste - CUP: C94E21000460001 Mooring Analysis	Pag. 3 di 31
-----------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------

## **1 PREMESSA**

### **1.1 *Scopo dell'attività***

La presente relazione riporta l'analisi di ormeggio eseguita nell'ambito del Progetto di Fattibilità Tecnico-Economica del Molo VIII, illustrato schematicamente in Figura 1, che costituirà un ampliamento del porto commerciale di Trieste. Nell'ambito di questa progettazione, la presente relazione descrive il dimensionamento dei dispositivi di ormeggio della nuova banchina per movimentazione di container sul lato Nord del nuovo Molo VIII, vedi Figura 2. In particolare, si prevede che lungo questa banchina possano ormeggiare contemporaneamente due navi portacontainer di tipo "MSC Gülsün". Tale dimensionamento è effettuato mediante una *mooring analysis*.

L'incarico è stato svolto effettuando le seguenti attività:

- Reperimento e/o definizione, anche mediante calcoli ed elaborazioni statistiche, dei dati di clima meteomarinico per l'area di progetto (livelli idrometrici, vento, corrente ed onde);
- Definizione della geometria della nave di progetto e dei parametri necessari alla mooring analysis relativi a tale nave;
- Definizione della geometria e delle caratteristiche dei dispositivi di ormeggio in banchina (posizione e capacità di bitte e ganci, posizione e performance dei parabordi) e della configurazione (posizione ed orientamento) della nave ormeggiata;
- Implementazione di un modello numerico delle condizioni al contorno meteomarine, dei dati relativi alla nave di progetto e della banchina (in particolare delle bitte e dei parabordi esistenti);
- Esecuzione della mooring analysis mediante il suddetto modello numerico, ai fini della verifica del livello di sicurezza dei dispositivi di ormeggio e quindi del loro dimensionamento.

### **1.2 *Localizzazione***

La banchina oggetto di questo studio è di nuova costruzione ed è ubicata sul lato Nord del futuro Molo VIII a Trieste, come mostrato in Figura 1 e Figura 2.

### **1.3 *Contenuti del presente documento***

Questa relazione specialistica illustra, nei capitoli che seguono:

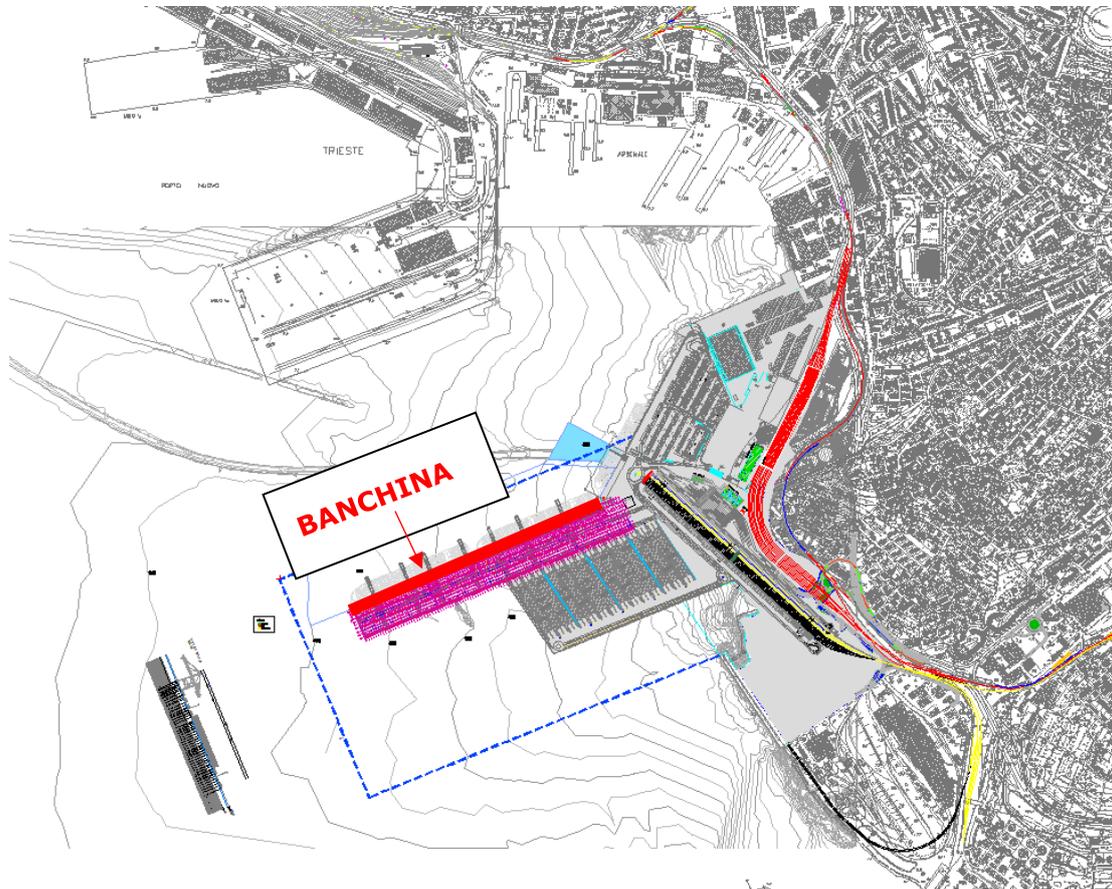
- Gli elaborati e la letteratura tecnica di riferimento;
- I principi alla base della mooring analysis;



- Le azioni meteomarine di progetto reperite e/o definite ai fini della mooring analysis;
- I parametri di input relativi alla nave di progetto (MSC Gülsün) e alla banchina, che permettono di definire la condizione di ormeggio;
- Il dimensionamento preliminare dei parabordi in base ai carichi previsti durante manovra di accosto della nave di progetto;
- I risultati della mooring analysis eseguita con il software commerciale OPTIMOOR;
- La discussione dei risultati e le conclusioni.



Figura 1: Posizione del nuovo Molo VIII nel contesto del porto di Trieste



*Figura 2: Identificazione della banchina in esame sul lato Nord del nuovo Molo VIII*

	Estensione delle infrastrutture comuni per lo sviluppo del Punto Franco Nuovo nel porto di Trieste - CUP: C94E21000460001 Mooring Analysis	Pag. 6 di 31
-----------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------

## **2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO**

### ***2.1 Riferimenti bibliografici e normativi***

- [Rif. 1] MSC Gülsün Final General Arrangement
- [Rif. 2] OCIMF, Mooring Equipment Guidelines (MEG4), 4th Edition, 2018;
- [Rif. 3] PIANC – WG24 – Criteria for movements of moored ships in harbours - A practical guide, 1995;
- [Rif. 4] PIANC - WG33 – Guidelines for the Design of fenders system, 2002;
- [Rif. 5] BS 6349-4:2014, Maritime works – Part 4: Code of practice for design of fendering and mooring systems;
- [Rif. 6] Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, Consiglio Nazionale delle Ricerche – Istruzioni tecniche per la progettazione delle dighe marittime, 1996;
- [Rif. 7] OPTIMOOR Mooring Analysis Computer Program, Users Guide. Tension Technology International LLC, September 2012;
- [Rif. 8] IACS Recommendation n.10: Chain Anchoring, Mooring and Towing Equipment, 1982 e rev. 4:2020;
- [Rif. 9] Shibata – SPC Cone Fenders – Product Brochure;

	<p>Estensione delle infrastrutture comuni per lo sviluppo del Punto Franco Nuovo nel porto di Trieste - CUP: C94E21000460001</p> <p>Mooring Analysis</p>	<p>Pag. 7 di 31</p>
-----------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------

### **3 PRINCIPI ALLA BASE DELLA MOORING ANALYSIS**

#### ***3.1 Principi generali***

La *mooring analysis* è una simulazione del cinematismo di una nave sottoposta a determinate condizioni ambientali e vincolata ad una struttura di ormeggio caratterizzata dalla presenza di bitte e parabordi.

I seguenti parametri possono essere impostati nell'ambito di una *mooring analysis*:

- Condizioni ambientali come il livello del mare, l'orientamento della banchina e le dimensioni dello specchio acqueo circostante;
- Entità e direzione delle azioni meteomarine (vento, onde, correnti);
- Geometria della banchina, incluso il posizionamento e le caratteristiche di resistenza di bitte e parabordi;
- Tipologia, dimensioni e geometria della nave di progetto. Rivestono una particolare importanza la definizione delle aree esposte al vento (laterale e frontale) e l'individuazione dei punti di uscita delle cime di ormeggio dallo scafo della nave;
- Il materiale di costruzione e le caratteristiche di resistenza delle cime di ormeggio;
- Il layout dell'ormeggio, ovvero: la posizione della nave rispetto alla struttura di accosto, il numero di cime di ormeggio utilizzate e la loro inclinazione (ai fini di una migliore risposta alle azioni esterne).

La nave trasmette alle bitte delle azioni mediante le cime di ormeggio, le cui caratteristiche possono essere definite nel dettaglio ma che spesso sono solo ipotizzate in quanto non sempre è noto l'equipaggiamento presente a bordo della nave di progetto.

Il risultato della *mooring analysis* è rappresentato dalle sollecitazioni trasmesse ai dispositivi di ormeggio in banchina, ma può includere anche gli spostamenti nelle 3 direzioni dello spazio e le 3 possibili rotazioni (rollio, beccheggio, imbardata), qualora di interesse ai fini dell'operatività della nave ormeggiata.

L'analisi fin qui descritta si riferisce normalmente ad una condizione quasi-statica, in virtù del fatto che le forze maggiori a cui una nave è sottoposta sono normalmente quelle dovute al vento, che non induce accelerazioni significative al sistema (ai fini di una *mooring analysis* si considerano generalmente valori sostenuti di vento della durata di 30 secondi). Qualora si ritenga che le forze di inerzia dovute agli spostamenti della nave non siano trascurabili, oppure che fenomeni di più breve durata come le onde possano determinare azioni dinamiche avendo una dimensione significativa rispetto a quella della nave nella loro direzione di propagazione, le sollecitazioni sui dispositivi di ormeggio sono sottostimate da un'analisi quasi-statica e un'analisi dinamica può essere raccomandabile.

	<p>Estensione delle infrastrutture comuni per lo sviluppo del Punto Franco Nuovo nel porto di Trieste - CUP: C94E21000460001</p> <p>Mooring Analysis</p>	<p>Pag. 8 di 31</p>
-----------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------

In conformità con le Istruzioni Tecniche per la progettazione delle dighe marittime (vedi [Rif. 6]), la probabilità  $P_F$  che un determinato evento si verifichi durante la vita utile di un'opera si può ottenere dalla seguente relazione:

$$T_R = T_V / [ -\ln (1-P_F) ]$$

dove  $T_R$  è il tempo di ritorno dell'evento in esame e  $T_V$  la vita utile dell'opera.

Se l'evento è rappresentato da una azione meteomarina superiore alle caratteristiche di resistenza dei dispositivi di ormeggio in banchina, il calcolo della probabilità  $P_F$  costituisce una quantificazione del livello di sicurezza dell'ormeggio, come descritto al Par. 6.2 per il caso in esame.

### 3.2 Ipotesi del caso in esame

Nel caso in esame sono state fatte le seguenti ipotesi preliminari al calcolo:

- Questa mooring analysis è stata eseguita nell'ipotesi di condizione quasi-statica;
- Sono stati studiati gli scenari di accosto di entrambe le navi portacontainer posizionate come da input ricevuto, in modo da garantire l'ormeggio in banchina delle due navi contemporaneamente. Ognuna delle due navi occupa una porzione della banchina e la posizione delle due navi considerata nella mooring analysis è fissata e illustrata in Figura 3.
- Nel seguito di questa relazione si fa riferimento alla Nave 1 e alla Nave 2, essendo la Nave 1 quella più vicina alla testata del molo, come mostrato in Figura 3.

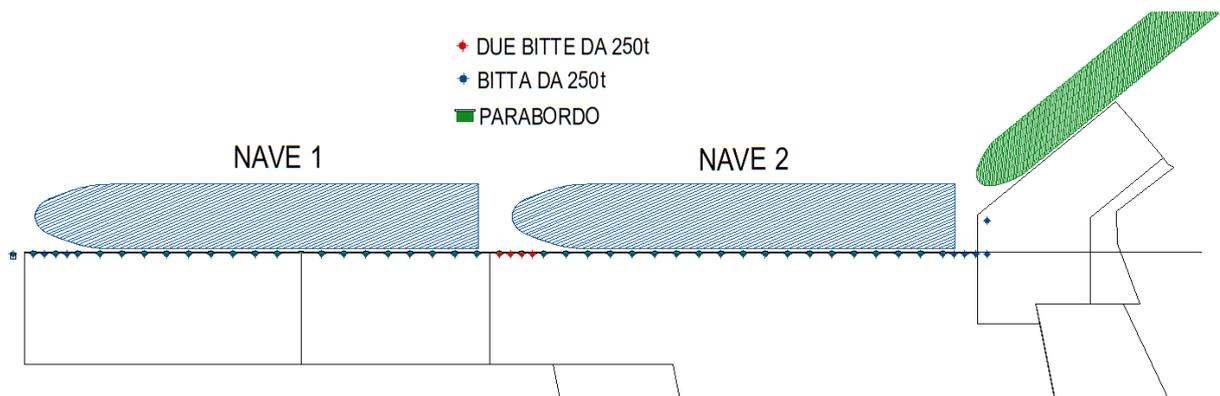


Figura 3: Layout della banchina con indicazione delle due navi di progetto

### 3.3 Modello di calcolo utilizzato

La *mooring analysis* è eseguita con il software di calcolo OPTIMOOR (versione 6.8.1), sviluppato da Tension Technology International. Il software si basa sull'implementazione dei metodi e delle formule proposti da OCIMF (vedi [Rif. 2]) comunemente usate nel settore oil & gas, ma estendibili anche ad altre tipologie di navi aventi dimensioni e sagome simili, come specificato al Par. 8.2

delle British Standards BS 6349-4. Una presentazione sintetica del software OPTIMOOR è fornita dalla scheda tecnica in Appendice A.

La forza derivante dall'azione del vento sulla nave in direzione longitudinale (X) e trasversale (Y) è calcolata da OPTIMOOR con le seguenti formule:

Forza longitudinale:  $F_{XW} = 1/2 \cdot C_{XW} \cdot \rho_a \cdot VW \cdot A_T$

Forza laterale:  $F_{YW} = 1/2 \cdot C_{YW} \cdot \rho_a \cdot VW \cdot A_L$

Momento di imbardata (*yaw moment*):  $M_{XYW} = F_{YW} \cdot X_W / LBP$

dove:

$C_{XW}$  = coefficiente di forza del vento longitudinale

$C_{YW}$  = coefficiente di forza del vento trasversale

$\rho_a$  = densità dell'aria

$V_W$  = velocità del vento

$A_T$  = area trasversale esposta al vento

$A_L$  = area longitudinale esposta al vento

$X_W$  = braccio della forza laterale

LBP = lunghezza fra le perpendicolari

Una esemplificazione grafica delle grandezze appena definite è mostrata in Figura 4. Il software OPTIMOOR dispone di valori catalogati dei coefficienti  $C_{XW}$  e  $C_{YW}$ , in funzione della tipologia di nave e della direzione di provenienza del vento rispetto all'asse longitudinale della nave, che permettono di tenere in conto la conformazione geometrica tipica delle superfici esposte al vento e la loro aerodinamicità.

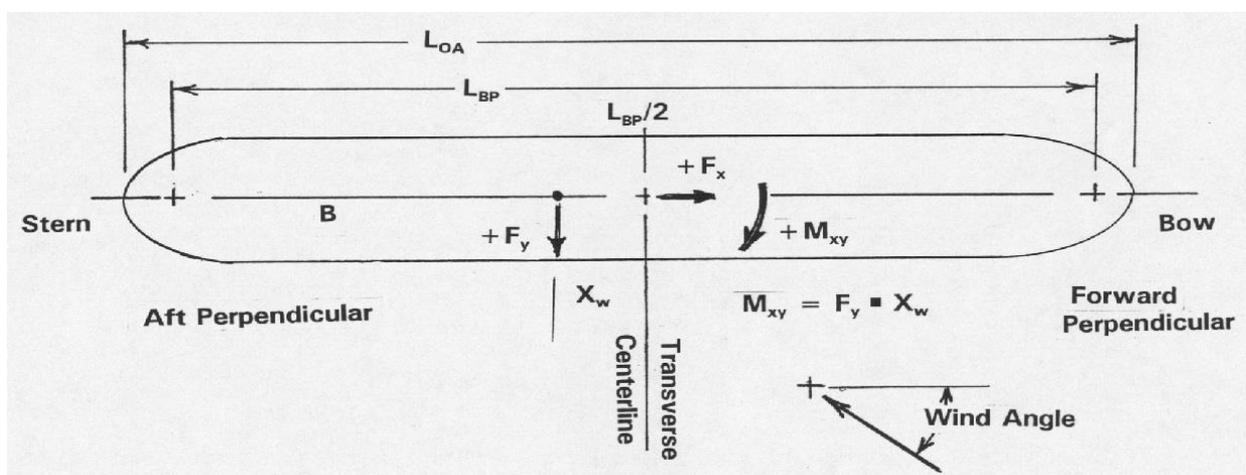


Figura 4: Schema delle forze e dei momenti dovuti al vento agenti sulla nave (vedi [Rif. 7])



Se la velocità del vento  $V_{Wh}$  è definita ad una quota diversa da quella di riferimento, ovvero 10m rispetto alla superficie, la velocità alla quota di 10m è definita come segue:

$$V_{W10} = V_{Wh} \cdot (10 / h)^{1/7}$$

	<p>Estensione delle infrastrutture comuni per lo sviluppo del Punto Franco Nuovo nel porto di Trieste - CUP: C94E21000460001</p> <p>Mooring Analysis</p>	<p>Pag. 11 di 31</p>
-----------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------

## 4 PARAMETRI DI INPUT

### 4.1 *Condizioni meteomarine*

#### 4.1.1 *Livelli di marea*

Considerando che le azioni dimensionanti nell'ambito di una *mooring analysis* sono quelle dovute al vento, e dunque non necessariamente correlate a livelli del mare estremi, si definisce un livello del mare di +0.50m s.l.m. come condizione al contorno di progetto, corrispondente ad una alta marea relativamente frequente all'interno della laguna di Venezia.

#### 4.1.2 *Velocità del vento*

Per una nave portacontainer una ampia dimensione al di sopra della linea di galleggiamento l'azione del vento è sicuramente quella maggiormente dimensionante. Per definire le velocità del vento caratterizzata da determinati tempi di ritorno in funzione della direzione di provenienza (settori direzionali di ampiezza 45°), sono state innanzitutto reperite le serie temporali di misurazioni effettuate in corrispondenza della stazione meteorologica esistente sul molo Fratelli Bandiera e gestita da ARPA Friuli-Venezia Giulia, che è la più vicina alla posizione della futura banchina. Le serie temporali riguardano gli anni dal 1995 al 2021, ovvero 25 anni essendo il database incompleto per gli anni 2019 e 2020. I dati misurati da questa stazione sono inoltre più cautelativi rispetto a quelli misurati da altre stazioni limitrofe (Muggia, boa Paloma). La stazione di misura è posta ad una quota di 10 m sul livello del mare e la sua posizione è mostrata in Figura 5.

Negli anni più recenti (9) sono disponibili anche i valori di velocità del vento relativi alla raffica di durata 3 secondi. Per l'analisi statistica dei dati di cui sopra, al fine di ottenere i valori estremi di progetto, le serie temporali sono state rielaborate come segue:

- Individuazione dei 9 valori massimi annuali di velocità del vento (raffiche di durata 3s) per ognuno degli 8 settori direzionali principali di provenienza;
- Correzione dei valori misurati per riferirli ad una durata di 30s, corrispondente ad una raffica sufficiente a sviluppare la risposta statica della nave ormeggiata. Con riferimento al grafico di Figura 6, essendo  $V_{3s}$  il valore di velocità relativo alla raffica di durata 3 secondi, il coefficiente correttivo da applicare vale 0.87:

$$V_{30s} = V_{3s} / 1.51 * 1.32 = V_{3s} * 0.87$$

- Per ognuna delle 8 direzioni di provenienza principali, ai fini della definizione di valori estremi i massimi annuali sono interpolati con una distribuzione di Gumbel a 2 parametri del tipo:

$$F(x) = \exp(-\exp(-(x-u)/a))$$

in cui

$$a = \text{parametro di scala} = 0.78 * \sigma$$

$$u = \mu - 0.45 * \sigma$$

$$\mu = \text{media dei 17 valori considerati}$$



$\sigma$  = scarto quadratico medio dei 17 valori considerati

La stessa analisi è stata fatta anche a partire dai dati di velocità del vento media oraria, amplificati di un fattore 1.32 per riferirli ad una durata di 30s (vedi Figura 6). In questo caso i valori massimi annuali sono minori, ma si ha a disposizione una serie di 25 valori per l'analisi statistica (interpolazione con distribuzione di Gumbel). Siccome non si evidenzia una migliore correlazione per la serie di 25 dati rispetto a quella da 9 (valori di  $R^2$  comunque generalmente superiori a 0.9), si sceglie cautelativamente di considerare i valori ottenuti a partire dalle velocità del vento in condizioni di raffica.

I risultati dell'analisi statistica sono valori estremi caratterizzati da tempo di ritorno di 100,50, e 10 anni, e sono riassunti in Tabella 1 (espressi in m/s e in nodi).



Figura 5: Posizione altimetrica della stazione di misura delle serie temporali di velocità del vento

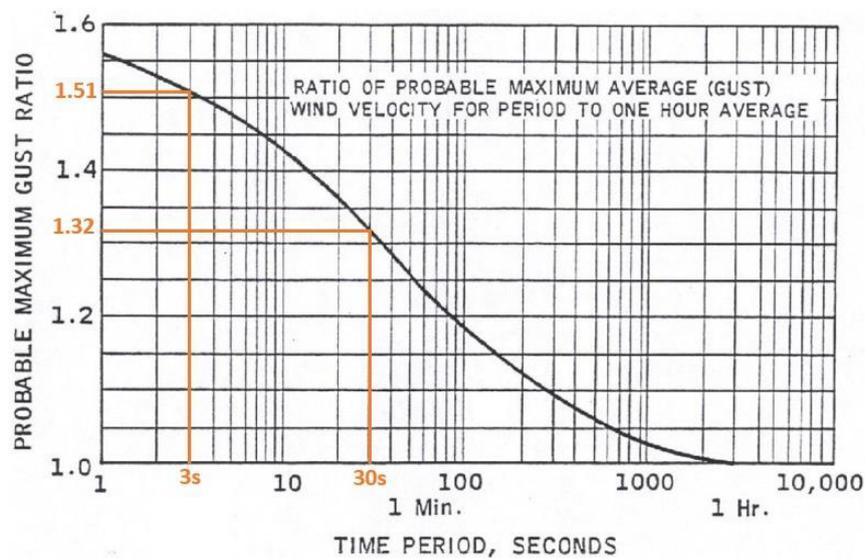


Figura 6: Coefficiente di correzione per tenere conto della durata di riferimento della velocità di vento (vedi [Rif. 7])

Tabella 1: Valori di velocità del vento di progetto

		N	N-E	E	S-E	S	S-O	O	N-O
		0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
Tr = 100 anni	(m/s)	31.5	46.8	47.6	28.7	28.4	33.2	31.4	25.7
	(nodi)	61.3	90.9	92.5	55.8	55.1	64.6	61.1	50.0
Tr = 50 anni	(m/s)	29.6	44.4	45.1	27.1	26.6	30.7	29.5	24.5
	(nodi)	57.5	86.3	87.6	52.7	51.8	59.7	57.4	47.6
Tr = 10 anni	(m/s)	25.0	38.7	39.2	23.3	22.6	24.8	25.0	21.6
	(nodi)	48.5	75.2	76.3	45.3	43.9	48.1	48.6	41.9

#### 4.1.3 Onde

Essendo le direzioni del vento di Nord-Est e di Est quelle che inducono sollecitazioni maggiori nei dispositivi di ormeggio (vedi Tabella 1), in tali condizioni non si ipotizzano agitazioni ondose significative in quanto i settori di traversia a cui la banchina è esposta sono diversi (Sud-Ovest, Ovest e Nord-Ovest).

Ai fini delle simulazioni si considera quindi un'agitazione ondosa di 0.5m proveniente da Ovest, come conseguenza del passaggio di una nave nello specchio d'acqua adiacente alla banchina. Tale scelta si ritiene adeguata all'attuale livello di progettazione, anche alla luce dei contenuti Relazione Tecnica di cui al **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata..**

#### 4.1.4 Velocità della corrente

Le simulazioni sono effettuate ipotizzando la presenza di una corrente di 1 nodo diretta da Est a Ovest lungo la banchina di progetto. Tale valore si ritiene sufficientemente rappresentativo date la limitata escursione di marea del paraggio in esame e dato l'impatto relativamente basso di tale azione nei confronti di una nave di tale stazza rispetto all'azione del vento. Tale scelta si ritiene adeguata all'attuale livello di progettazione, anche alla luce dei contenuti Relazione Tecnica di cui al **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata..**

## 4.2 Nave di progetto

### 4.2.1 Geometria e caratteristiche della nave di progetto

È stata considerata come nave di progetto la nave container MSC Gülsün, ovvero la più grande che si prevede possa ormeggiare alla banchina in esame.



La geometria della nave di progetto è stata desunta dalla scheda tecnica di cui si riporta uno stralcio in Figura 7. Tutti i dati sono stati ricavati dal *General Arrangement Plan* della nave (vedi [Rif. 1]).

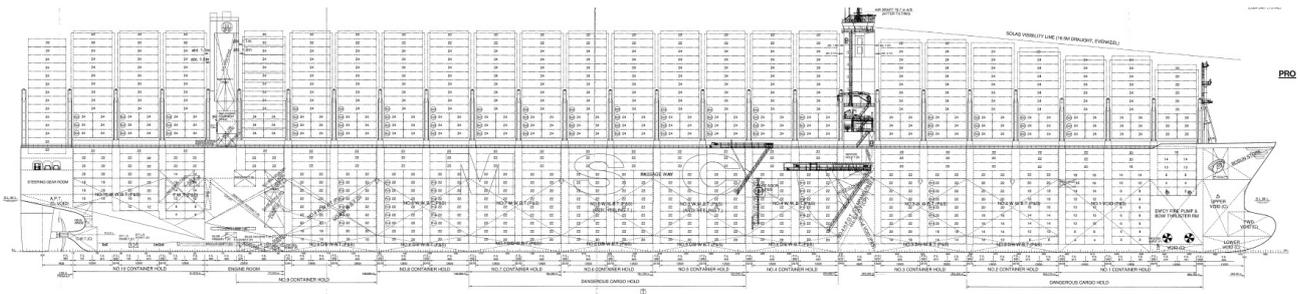


Figura 7: Vista laterale della nave di progetto (input da [Rif. 1])

In Tabella 3 sono riassunti dati tecnici della nave di progetto, ottenuti da [Rif. 1] e, ove necessario, mediante elaborazioni grafiche. Le aree esposte al vento sono misurate al di sopra della quota del ponte principale della nave, in quanto il software OPTIMOOR considera automaticamente la superficie esposta al vento compresa fra il ponte principale e la linea di galleggiamento.

In Figura 8 sono illustrate, in pianta, le posizioni dei punti di uscita delle cime di ormeggio lungo il perimetro dello scafo e nel prospetto è stata evidenziata l'area esposta al vento in direzione laterale al di sopra del ponte principale.

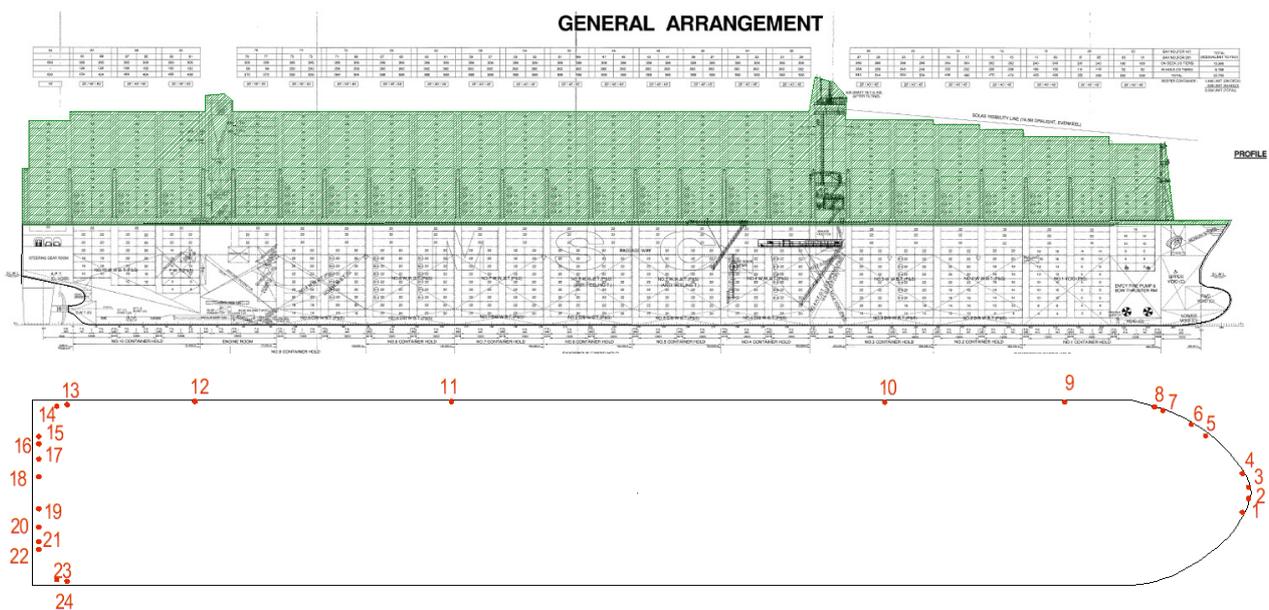


Figura 8: Illustrazione (in verde) dell'area esposta al vento in direzione laterale al di sopra del ponte principale e punti di uscita delle cime di ormeggio in pianta

Tabella 2: Dati tecnici della nave di progetto.

<b>Dati tecnici MSC GÜLSÜN</b>	
Tonnellaggio di portata lorda (GT)	232618 ton
Dislocamento (M <sub>D</sub> )	228149 ton
Lunghezza fuoritutto (LOA)	399.9 m
Lunghezza fra le perpendicolari (LBP)	383.0 m
Larghezza (B)	61.5 m
Pescaggio (D)	16.5 m
Altezza del ponte principale rispetto alla chiglia	33.2 m
Area esposta al vento in direzione frontale (al di sopra del ponte principale)	2551 m <sup>2</sup>
Area esposta al vento in direzione laterale (al di sopra del ponte principale)	13716 m <sup>2</sup>

#### 4.2.2 Cime di ormeggio

Le caratteristiche delle cime di ormeggio di cui è dotata la nave sono state definite secondo le seguenti ipotesi:

- Cime in polietilene ad alto modulo (HMPE). Tale tipologia di materiale è confermata dalle immagini della nave ormeggiata reperibili sul web ([www.marinetraffic.com](http://www.marinetraffic.com)), vedi Figura 9;
- La connessione delle cime lato nave avviene mediante winch, con una pretensione di 10 ton, ad eccezione delle spring lines per le quali si ipotizza una connessione manuale, con una pretensione di 0.1 ton. Il General Arrangement Plan, infatti, mostra la presenza di winch solo a prua e a poppa della nave;
- Carico limite (MBL = minimum breaking load) definito, in assenza di indicazioni specifiche, pari a 286 ton che corrisponde ad un diametro delle cime di 60mm. Tale valore è superiore a quello di progetto che si ottiene applicando il metodo fornito dalle raccomandazioni IACS (vedi [Rif. 8]) ovvero:

$$MBL_{SD} = \text{carico limite di riferimento} = 0.1 * A_1 + 350 \text{ kN} = 2394 \text{ Kn}$$

dove, conformemente a tali raccomandazioni, sono definiti i seguenti parametri:

$$vw = \text{velocità del vento di riferimento} = 25 \text{ m/s};$$

$$A_1 = \text{superficie laterale totale esposta al vento} = 20'440 \text{ m}^2;$$

	<p>Estensione delle infrastrutture comuni per lo sviluppo del Punto Franco Nuovo nel porto di Trieste - CUP: C94E21000460001</p> <p>Mooring Analysis</p>	<p>Pag. 16 di 31</p>
-----------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------

EN = modulo di armamento (*Equipment Number*) = 13'514.

In caso di velocità del vento maggiori della  $v_w$  di riferimento, secondo le raccomandazioni IACS il carico limite delle cime dovrebbe essere incrementato. Tuttavia, per i valori del caso in esame (45.1 m/s da Est per eventi con tempo di ritorno di 50 anni), adottare tale criterio significherebbe ipotizzare che le cime di ormeggio hanno una resistenza molto maggiore delle bitte: ciò non è mai desiderabile, in quanto secondo un criterio di "gerarchia delle resistenze" è più opportuno che arrivi a rottura una cima di ormeggio (danno di minore entità e più facilmente riparabile) piuttosto che una bitta.

La dimensione delle cime di ormeggio è dunque stata scelta in modo tale che, nelle quasi totalità delle condizioni simulate (vedi Capitolo 6), il carico di progetto delle bitte non sia raggiunto prima del 75% del carico di rottura delle cime di ormeggio, limite raccomandato dal PIANC (vedi [Rif. 3]) per cime in fibra sintetica.

### **4.3 Banchina di progetto**

La banchina in esame ha il fronte di accosto orientato secondo una direzione di 68°N ed è costituito da un impalcato su pali. La quota di pavimentazione della banchina è di +4.3m s.l.m., come mostrato in Figura 12. La profondità del fondale nella zona di ormeggio è di circa -18.0m s.l.m.

#### **4.3.1 Bitte**

Le bitte sono posizionate lungo il fronte della banchina con un interasse di 20m, ad eccezione delle zone più vicina alla poppa e alla prua di ciascuna nave dove l'interasse è ridotto a 10m. Inoltre non si predispongono nessuna bitta in corrispondenza del giunto strutturale previsto nella banchina tra la fase 1 e la fase 2. La posizione impostata nel modello numerico è stata ricavata dagli elaborati grafici di input. Tutte le bitte hanno un carico di progetto pari a 250 ton.

La verifica della condizione di ormeggio è eseguita con due simulazioni numeriche per studiare l'attracco delle due navi che andranno ormeggiate sulla banchina del nuovo Molo VIII.

Le bitte potenzialmente utilizzabili dalla Nave 1 sono 28 (identificate dalle lettere da **A** a **\*B**) mentre quelle potenzialmente utilizzabili dalla Nave 2 sono 29 (identificate dalle lettere da **A** a **\*C**). In rosso sono indicate delle coppie di bitte da 250t posizionate a distanza ravvicinata.

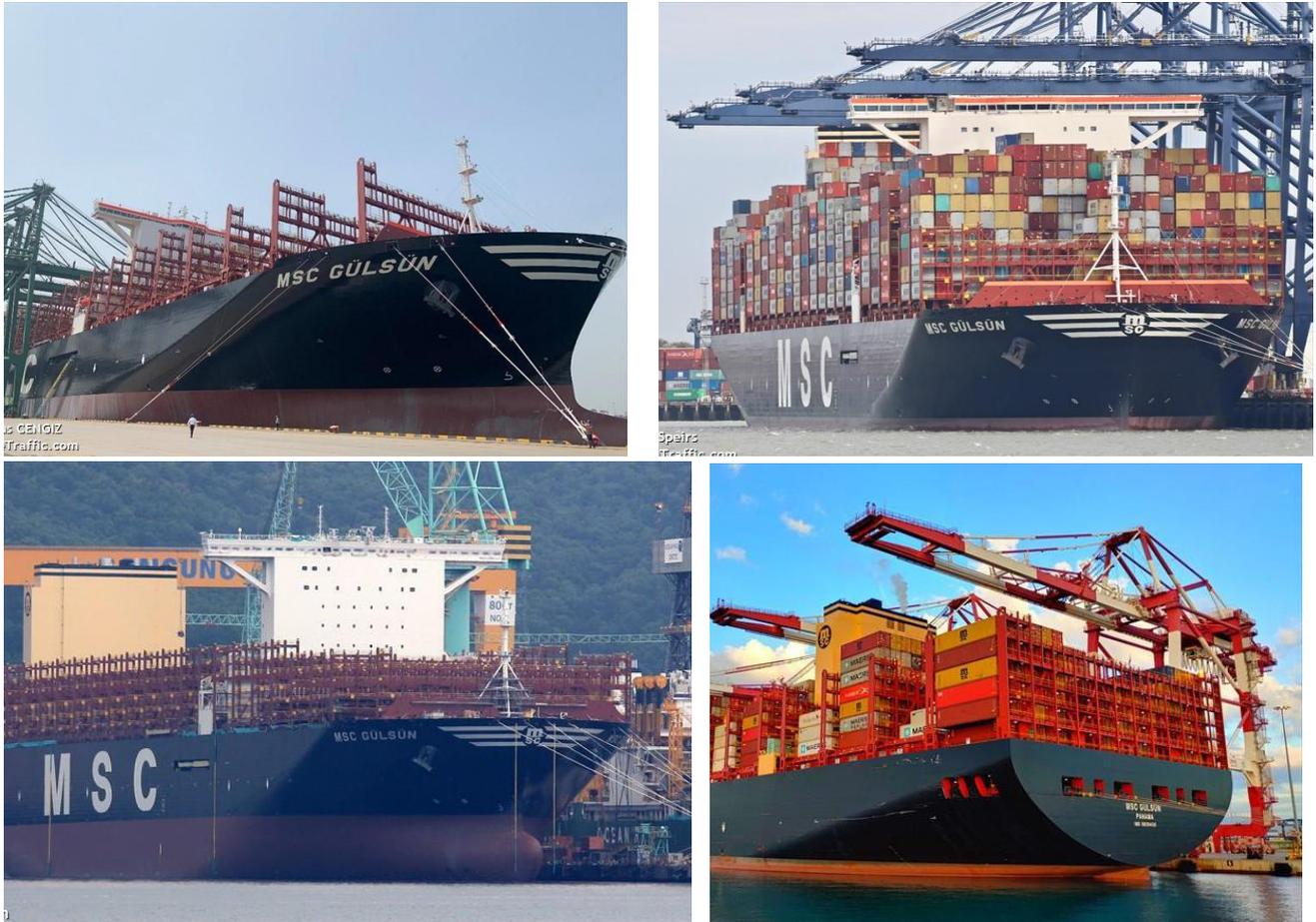


Figura 9: Fotografie della nave di progetto ormeggiata (fonte: [www.marinetraffic.com](http://www.marinetraffic.com))

#### 4.3.2 Parabordi

Si prevede che lungo il fronte di banchina siano presenti parabordi ad una reciproca distanza di 10m. A seguito del dimensionamento descritto al Cap. 5, si prevede di installare parabordi Shibata di forma conica di tipo SPC 1400 classe 2.2 ( $E_R = 1416 \text{ kNm}$ ,  $RR = 1931 \text{ kN}$ ). I parabordi sono fissati con catene alla banchina ed il loro centro si trova ad una quota di 1.70m s.l.m. per il posizionamento del futuro sistema di cold ironing, come mostrato in figura 12.

Le caratteristiche tecniche dei parabordi sono state desunte dal catalogo più recente di Shibata (vedi [Rif. 9]), ed in particolare la curva reazione-deformazione è stata riprodotta all'interno del modello numerico (vedi Figura 13). Nel modello numerico sono implementati 26 parabordi (identificati dalle lettere da **aa** a **zz**) per entrambe le navi.



Mooring Analysis

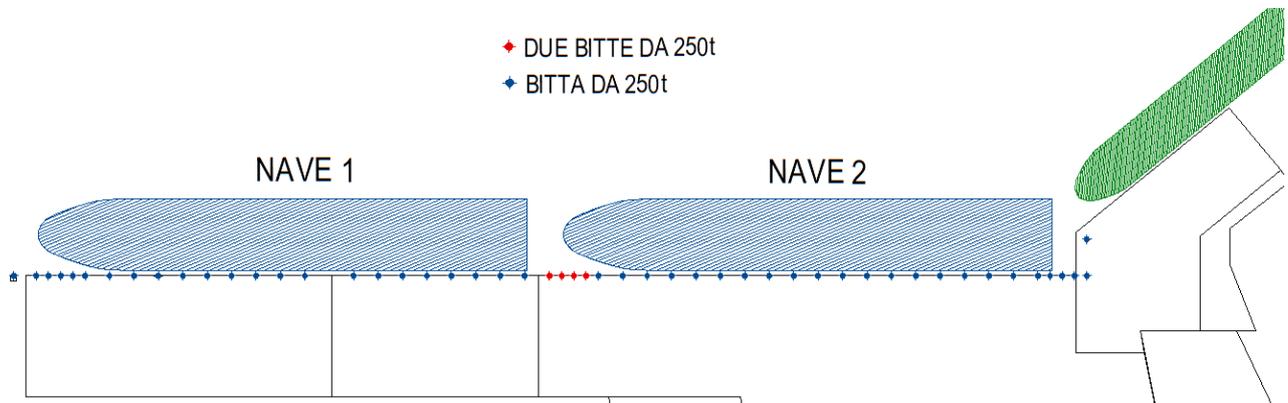


Figura 10: Layout della banchina con indicazione bitte (in rosso e in blu).

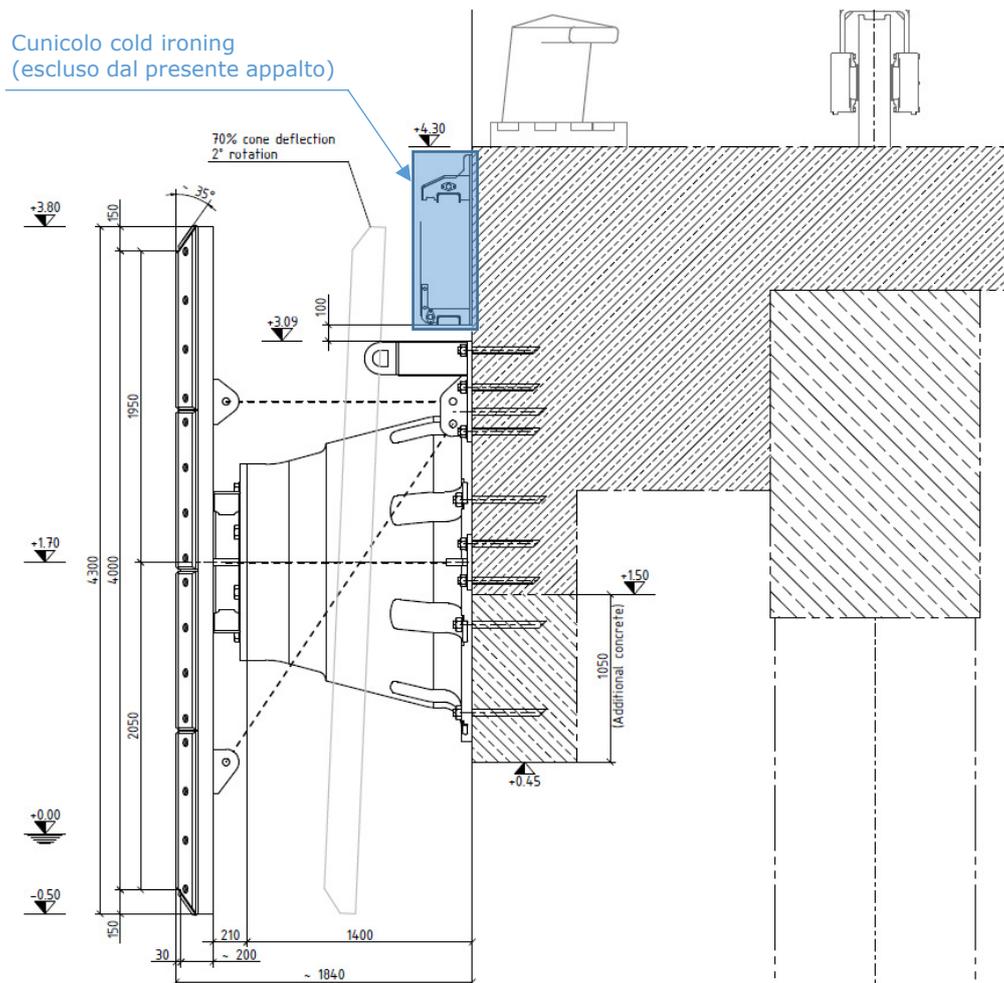


Figura 11: Sezione tipica della banchina con in evidenza la posizione dei parabordi.

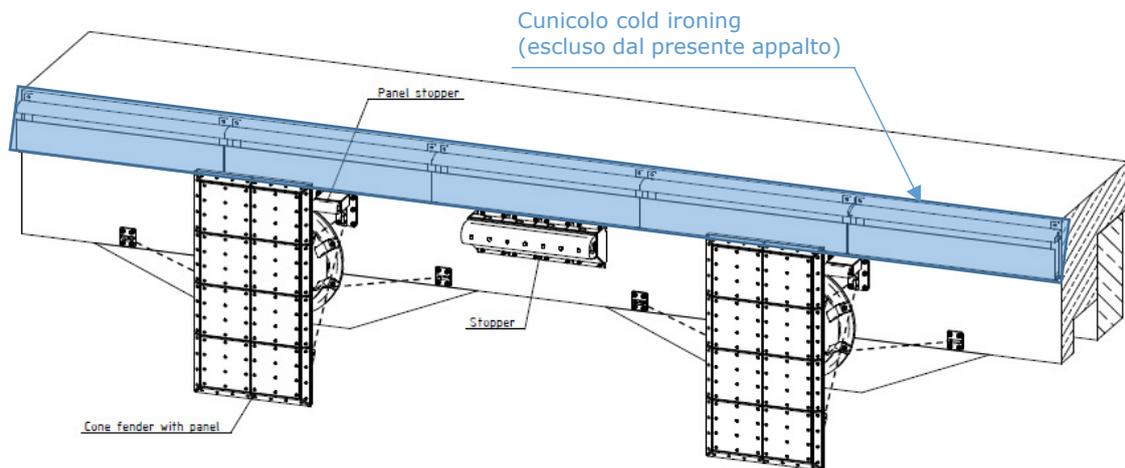


Figura 12: Vista 3D del fronte banchina.

GENERIC PERFORMANCE CURVE SPC FENDERS

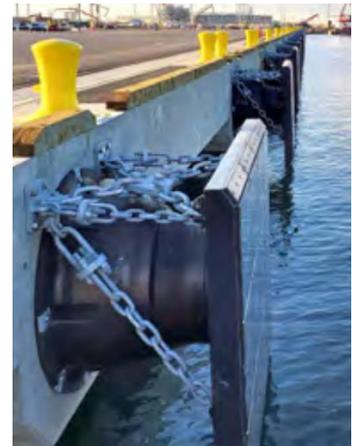
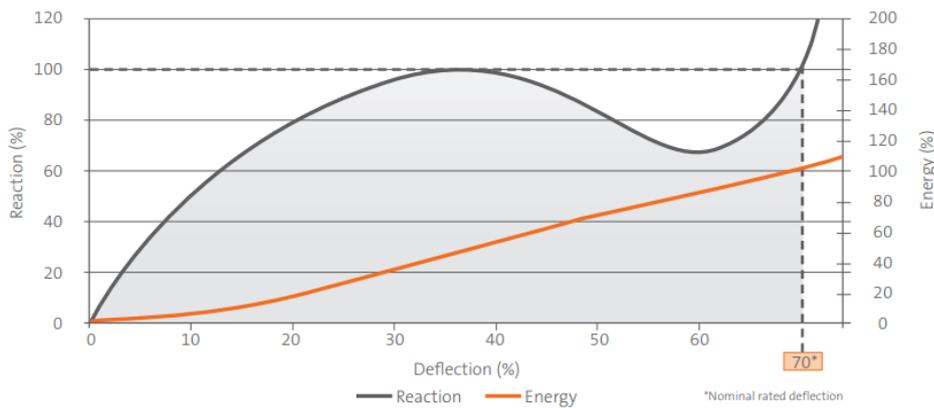


Figura 13: Curva deformazione-reazione parabordi SCN

	Estensione delle infrastrutture comuni per lo sviluppo del Punto Franco Nuovo nel porto di Trieste - CUP: C94E21000460001 Mooring Analysis	Pag. 20 di 31
-----------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------

## **5 DETERMINAZIONE DELL'ENERGIA DI IMPATTO DELLA NAVE DI PROGETTO E VERIFICA DEL PARABORDO**

Per la definizione di una tipologia di parabordo adatta ad assorbire l'energia di accosto della nave di progetto, si riporta di seguito il calcolo eseguito secondo il metodo definito al Par. 4.2 delle Linee Guida WG33 del PIANC (vedi [Rif. 6]).

Ai fini di questo calcolo sono state fatte le seguenti ipotesi:

- Ormeaggio laterale ovvero di tipo side berthing;
- Angolo di impatto della nave sui parabordi pari a 6°;
- Under keel clearance (UKC) pari a 1.5 m;
- Velocità di accosto pari a 100 mm/s, desumibile dai grafici di Brolmsa et al. (1977) per accosto in condizioni esposte e con manovra facile;
- Fattore di sicurezza per la determinazione dell'energia in condizioni estreme FS = 1.5.

Di seguito si riportano i dettagli del calcolo. In particolare l'energia di impatto in condizioni estreme è pari a:

$$E_A = 1887.7 \text{ kNm}$$

Sotto si riporta il dettaglio del calcolo.



## SHIP DIMENSIONS

		User defined		
Deadweight		228.149	DWT	User defined value
Gross Tonnage		-	GT	User defined value
Twenty-foot Equivalent Unit		-	TEU	User defined value
Cubic Capacity		-	m <sup>3</sup>	User defined value
Displacement	M <sub>D</sub>	292.886	t	User defined value
Length Overall	L <sub>OA</sub>	399,900	m	User defined value
Length Between Perpendiculars	L <sub>BP</sub>	383,000	m	User defined value
Beam	B	61,500	m	User defined value
Draft	D	16,500	m	User defined value
Freeboard	F	-	m	User defined value

## BERTH & APPROACH

Under Keel Clearance	K <sub>C</sub>	1,500	m	User defined value
Berthing Angle	α	6,0	degrees	
Point of Contact from Bow	x	95,750	m	
Seawater Density	ρ <sub>sw</sub>	1,030	t/m <sup>3</sup>	User defined value
Structure Type		Open or Semi-Open Quay Wall		
Berthing Mode		Quarterpoint		
Eccentricity Calculation Method		Full Method		
Added Mass Calculation Method		BS6349-4:2014 (Side Berthing)		

## CALCULATED VALUES

Block Coefficient	C <sub>B</sub>	0,732		
Impact Point to Centre of Mass	R	100,567	m	
Radius of Gyration	K	95,372	m	
Velocity Vector Angle	Y	66,2	degrees	
Hydrodynamic Mass Coefficient	C <sub>M</sub>	1,537		
Eccentricity Coefficient	C <sub>E</sub>	0,559		
Softness Coefficient	C <sub>S</sub>	1,000		
Berth Configuration Coefficient	C <sub>C</sub>	1,000		

## BERTHING ENERGY

Berthing Velocity standard		BS6349-4:2014		
Berthing Conditions		(c) Good berthing, exposed to waves and/or currents		
Berthing Velocity	V <sub>B</sub>	0,100	m/s	User defined
Characteristic Berthing Energy	E <sub>C</sub>	1.258,5	kNm	
Berthing Energy Factor	F <sub>S</sub>	1,500		

**Design Berthing Energy** E<sub>D</sub> **1.887,7** kNm

I fender scelti (SPC 1400 G 2.2) per una deformazione del 70% possono assorbire un'energia di 1416 kNm, come riportato nella Figura 13 in forma grafica e nella tabella seguente.

#### FENDER PERFORMANCE AT INTERMEDIATE DEFLECTION

Deflection of original fender height [%]	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	72	73	74
Energy Absorption of original value [%]	0	1	5	10	17	25	34	44	53	62	71	78	85	92	100	104	107	110
Reaction Force of original value [%]	0	27	48	65	79	90	97	100	99	93	84	73	68	76	100	132	148	165

Fender Size	E/R	Rubber Grades										
		G 1.9	G 2.0	G 2.1	G 2.2	G 2.3	G 2.4	G 2.5	G 2.6	G 2.7	G 2.8	G 2.9
SPC 300	E <sub>A</sub> R <sub>F</sub>	13	13	14	14	14	15	15	16	16	16	17
		81	83	86	89	91	94	96	99	102	104	107
SPC 350	E <sub>A</sub> R <sub>F</sub>	20	21	22	22	23	24	24	25	25	26	27
		110	113	117	121	124	128	131	135	138	142	146
SPC 400	E <sub>A</sub> R <sub>F</sub>	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
		143	148	152	157	162	166	171	176	180	185	190
SPC 500	E <sub>A</sub> R <sub>F</sub>	59	61	63	65	66	68	70	72	74	76	78
		224	231	238	246	253	260	268	275	282	289	297
SPC 600	E <sub>A</sub> R <sub>F</sub>	102	105	108	111	115	118	121	125	128	131	135
		323	333	344	354	365	375	385	396	406	417	427
SPC 700	E <sub>A</sub> R <sub>F</sub>	162	167	172	177	183	188	193	198	203	209	214
		439	454	468	482	496	511	525	539	553	568	582
SPC 800	E <sub>A</sub> R <sub>F</sub>	241	249	257	265	272	280	288	296	304	311	319
		574	593	611	630	648	667	686	704	723	741	760
SPC 900	E <sub>A</sub> R <sub>F</sub>	343	354	365	376	388	399	410	421	432	443	454
		727	750	774	797	821	844	868	891	915	939	962
SPC 1000	E <sub>A</sub> R <sub>F</sub>	471	486	501	516	531	547	562	577	592	608	623
		897	926	955	984	1,013	1,043	1,072	1,101	1,130	1,159	1,188
SPC 1100	E <sub>A</sub> R <sub>F</sub>	627	647	667	687	707	728	748	768	788	809	829
		1,085	1,120	1,156	1,191	1,226	1,262	1,297	1,332	1,367	1,402	1,437
SPC 1150	E <sub>A</sub> R <sub>F</sub>	714	737	760	784	807	830	853	876	899	922	945
		1,187	1,225	1,264	1,302	1,341	1,379	1,418	1,456	1,495	1,533	1,571
SPC 1200	E <sub>A</sub> R <sub>F</sub>	812	838	864	890	917	943	969	996	1,022	1,048	1,074
		1,293	1,335	1,377	1,418	1,460	1,502	1,544	1,586	1,628	1,670	1,712
SPC 1300	E <sub>A</sub> R <sub>F</sub>	1,034	1,067	1,101	1,134	1,168	1,201	1,234	1,268	1,301	1,335	1,368
		1,510	1,559	1,608	1,656	1,705	1,754	1,803	1,852	1,901	1,950	1,999
SPC 1400	E <sub>A</sub> R <sub>F</sub>	1,291	1,332	1,374	1,416	1,458	1,499	1,541	1,583	1,625	1,667	1,708
		1,760	1,817	1,874	1,931	1,988	2,045	2,102	2,159	2,216	2,273	2,330

Per tenere conto di specifici fattori (temperatura, compressione angolare) oltre che l'incertezza sulle caratteristiche fisiche e sulla qualità dei materiali derivanti da tolleranze in fase di produzione, si applica una riduzione del 10% sull'energia assorbibile dal fender:

$$E_R^* = 0.9 * E_R = 0.9 * 1416 = 1274.4 \text{ kNm}$$

	<p>Estensione delle infrastrutture comuni per lo sviluppo del Punto Franco Nuovo nel porto di Trieste - CUP: C94E21000460001</p> <p>Mooring Analysis</p>	<p>Pag. 23 di 31</p>
-----------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------

Tale energia risulta essere inferiore a quella necessaria ( $E_A = 1887.7$  kNm), ma l'interasse tra i fender è stato assunto di 10 m in modo tale che durante l'impatto vengano coinvolti più fender.

Dato il raggio di curvatura della carena della nave, pari a circa 165 m =  $R_B = 0.5 \cdot \left( \frac{B}{2} + \frac{L_{BP}^2}{8 \cdot B} \right)$ , mediante ricostruzione grafica si sono individuati i seguenti due possibili schemi di impatto:

- n.3 fender coinvolti (impatto in corrispondenza dell'asse di un fender)
- n.2 fender coinvolti (impatto in corrispondenza della mezzeria tra due fender)

Di seguito si riporta la verifica del sistema:

- n.3 fender coinvolti:
  - Il fender centrale assorbe un'energia di 1274.4 kNm (il 100%) con una deformazione del 70%, a cui corrisponde una reazione di 1931 kN (il 100%)
  - I due fender laterali assorbono un'energia di 981 kNm (il 77%) con una deformazione del 54%, a cui corrisponde una reazione di 1440 kN (il 75%)
  - Il sistema complessivamente è in grado di assorbire un'energia di 3237 kNm ( $1274 + 2 \times 981$ ) >  $E_A$ , con una reazione  $R_R = 4811$  kN ( $= 1931 + 2 \times 1440$ )
- n.2 fender coinvolti:
  - I fender assorbono un'energia di 1216 kNm (il 95%) con una deformazione del 67%, a cui corrisponde una reazione di 1666 kN (l'86%)
  - Il sistema complessivamente è in grado di assorbire un'energia di 2432 kNm ( $2 \times 1216$ ) >  $E_A$ , con una reazione  $R_R = 3332$  kN ( $= 2 \times 1666$ )



## 6 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI

### 6.1 *Presentazione dei risultati*

Si riportano di seguito i risultati della *mooring analysis* effettuata per una configurazione di progetto per la Nave 1 e una per la Nave 2 in cui la disposizione delle cime di ormeggio è tale da ottimizzare i carichi trasmessi alle bitte.

In Figura 14 è rappresentata la rosa dei venti di progetto per il sito in esame, basata sui valori di Tabella 1, ovvero il grafico della velocità del vento associata allo specifico tempo di ritorno in funzione della direzione principale di provenienza. Sono mostrate in questo grafico, oltre alle velocità del vento con tempo di ritorno di 100 anni, velocità caratterizzate da tempi di ritorno più bassi (50, 10 anni).

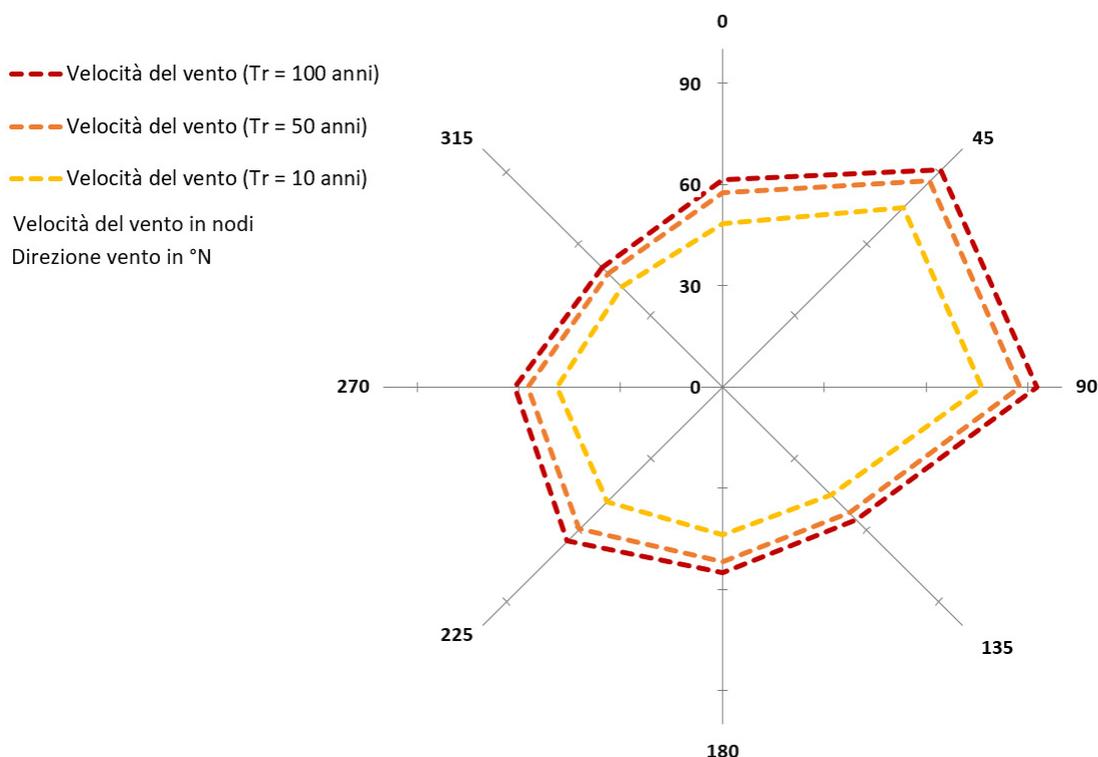


Figura 14: Rosa dei venti di progetto

I risultati delle simulazioni sono rappresentati in forma di "rosa dei venti limite", ovvero grafico in cui alla rosa dei venti di progetto si sovrappongono le seguenti curve:

- **Curva azzurra.** Le velocità del vento minime che, a seconda della direzione di provenienza, portano una bitta al suo carico limite. La bitta specifica è indicata nel grafico;
- **Curva gialla.** Le velocità del vento minime che, a seconda della direzione di provenienza, portano una cima di ormeggio al 75% del suo carico limite ( $MBL \cdot SD = 214.5t$ ). Tale percentuale è comunemente usata come soglia di sicurezza nel settore oil & gas (vedi [Rif. 2]);



- **Curva marrone.** Le velocità del vento minime che, a seconda della direzione di provenienza, portano un parabordo al suo carico limite.

Nelle figure seguenti si mostrano i risultati delle simulazioni effettuate per entrambe le navi.

Nella simulazione, conformemente alle ipotesi definite nel Par. 4.1, sono state ipotizzate sia un'onda con altezza significativa di 0.5m proveniente da Ovest sia una corrente di 1 nodo diretta da Est a Ovest lungo la banchina.

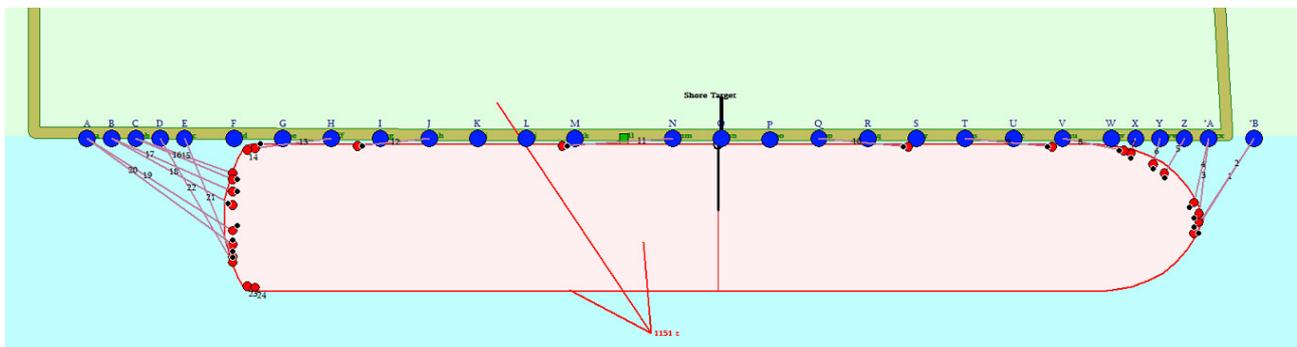
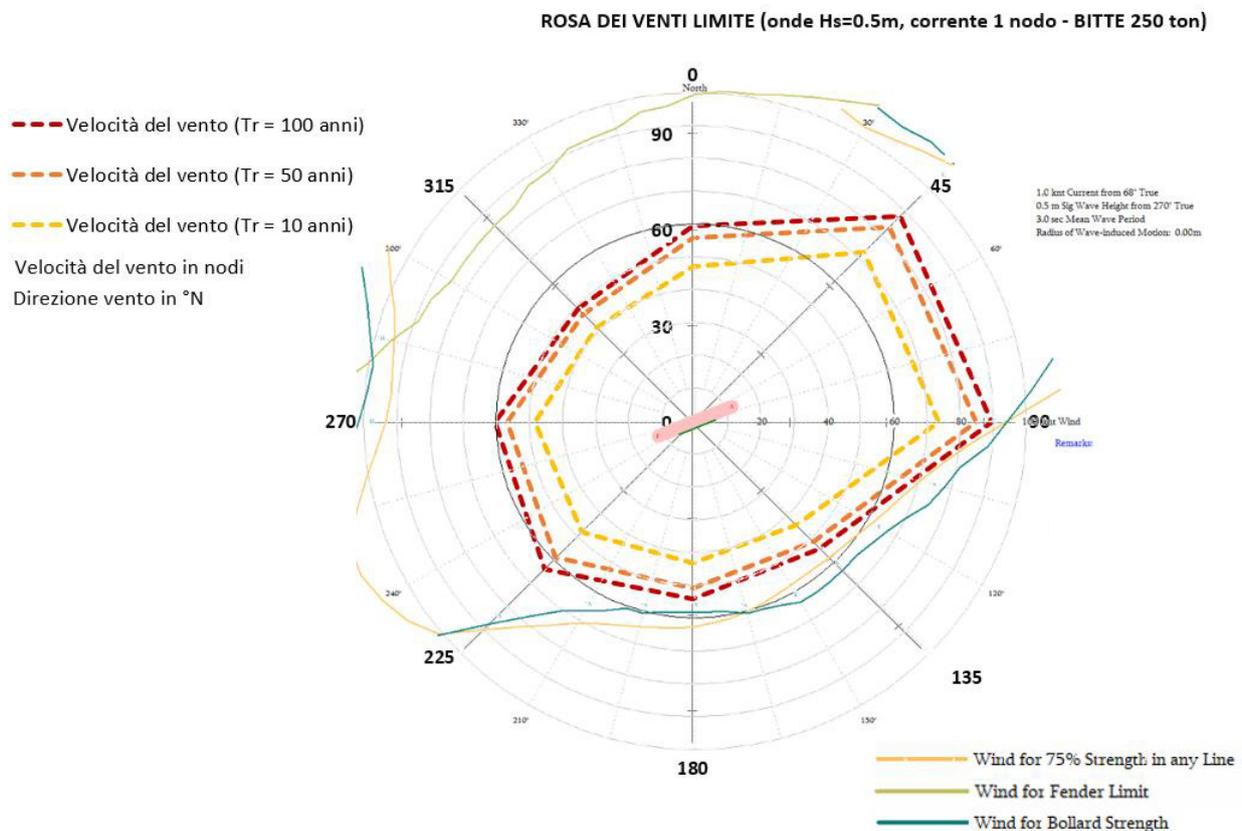


Figura 15: Risultato della mooring analysis Nave 1



Mooring Analysis

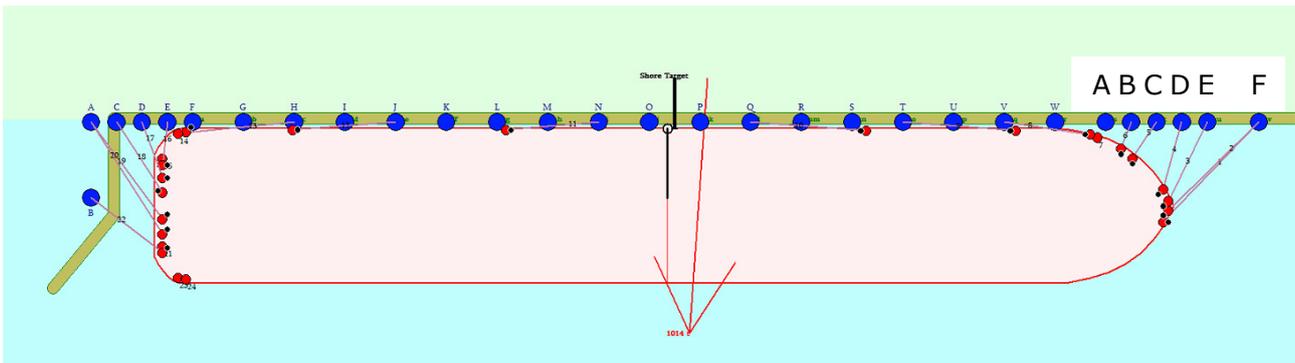
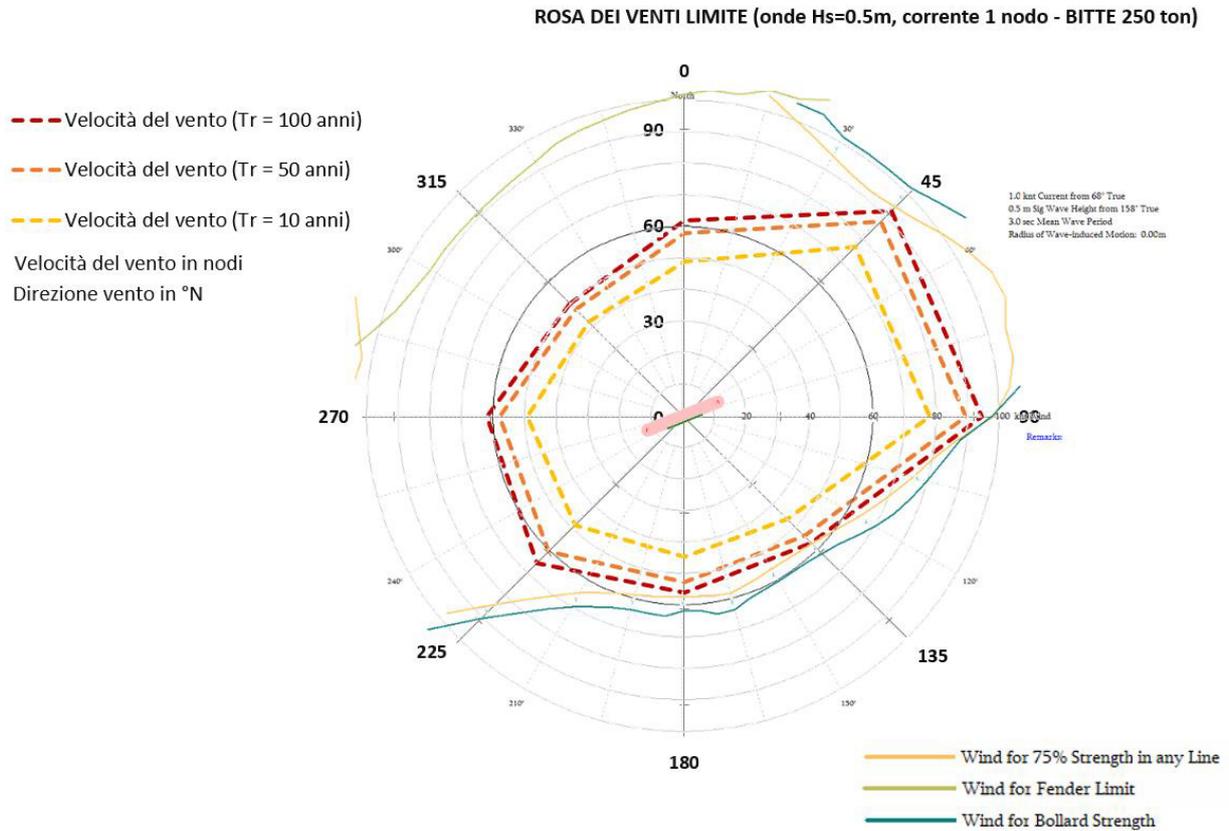


Figura 16: Risultato della mooring analysis Nave 2

## 6.2 Discussione dei risultati

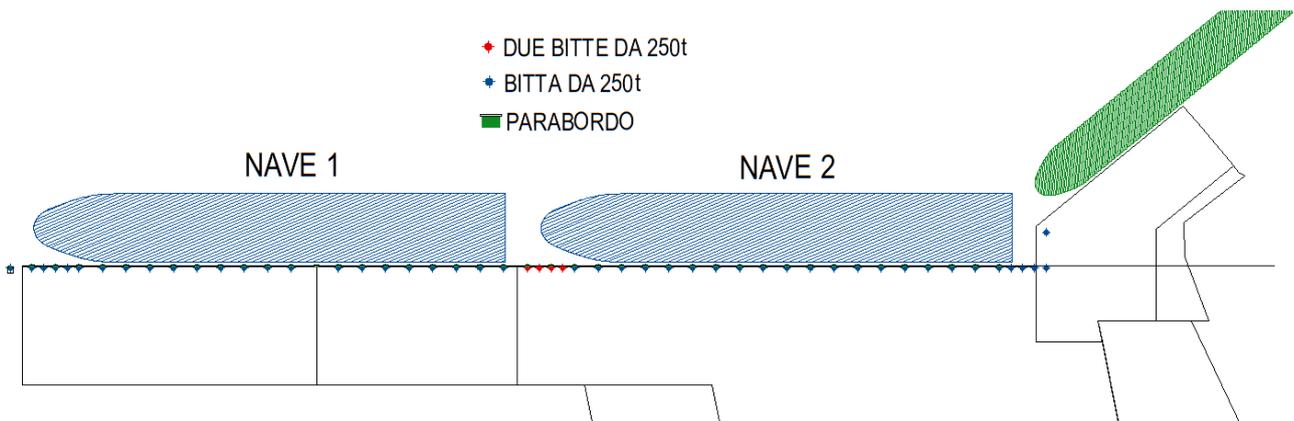
I risultati mostrati nelle figure precedenti si possono riassumere nelle seguenti considerazioni:

- I venti provenienti da E, S e S-E con tempo di ritorno di 100 anni risultano dimensionanti per le bitte: in tali condizioni il carico di progetto delle bitte è di poco superiore alle sollecitazioni trasmesse dalle cime di ormeggio nelle configurazioni simulate.
- In virtù della definizione della probabilità di failure (PF) di cui al Par. 3.1, se la banchina avrà una vita utile di 100 anni si può ipotizzare che, adottando le configurazioni di ormeggio



simulate, condizioni vicine a quelle di progetto per le bitte saranno raggiunte con una probabilità del 63% nel corso della vita utile della banchina.

- Per l'accosto di entrambe le navi in contemporanea è necessario prevedere il raddoppio di 4 bitte posizionate nell'area compresa fra la poppa della Nave 1 e la prua della Nave 2. Si riporta una pianta con l'indicazione delle bitte da raddoppiare in rosso, mentre in blu sono rappresentate le bitte singole.



In merito ai risultati appena presentati valgono anche le seguenti ulteriori considerazioni:

- È generalmente preferibile che si verifichi la rottura di una cima di ormeggio rispetto alla rottura di una bitta. Per la Nave 1, nella configurazione di ormeggio simulata, unicamente con vento da direzione Sud si raggiunge prima il carico di progetto di una bitta rispetto al 75% del carico limite di una cima di ormeggio. Per la Nave 2 tale eventualità non si raggiunge per nessuna direzione del vento.
- Nelle configurazioni di ormeggio simulate, alcune cime trasmettono una azione verticale significativa alle bitte (si hanno inclinazioni anche di 45° rispetto all'orizzontale).
- I risultati delle simulazioni effettuate sono molto poco sensibili ai valori di altezza d'onda e di velocità di corrente eventualmente presenti;
- I parabordi SCN 1400 G2.2 in corrispondenza delle bitte risultano adeguati anche in situazione di nave ormeggiata;
- La verifica è pertanto soddisfatta nelle condizioni più conservative relative alla velocità del vento e permette l'accosto di due navi container MSC Gülsün in contemporanea.

	Estensione delle infrastrutture comuni per lo sviluppo del Punto Franco Nuovo nel porto di Trieste - CUP: C94E21000460001 Mooring Analysis	Pag. 28 di 31
-----------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------

## **7 CONCLUSIONI**

La *mooring analysis* dimostra come la configurazione di ormeggio considerata lungo la banchina del nuovo Molo VIII del porto di Trieste dia esito positivo per condizioni con tempo di ritorno di circa 100 anni, considerando l'ormeggio contemporaneo di due navi portacontainer di tipo MSC Gülsün e la disposizione delle bitte come ipotizzata in Figura 10.

La contemporaneità delle due navi ormeggiate è resa possibile in particolare mediante il raddoppio di 4 bitte presenti fra la poppa della Nave 1 e la prua della Nave 2.

La *mooring analysis* è stata condotta in condizioni quasi-statiche, dunque ipotizzando che siano trascurabili le forze di inerzia dovute agli spostamenti della nave, e che fenomeni di più breve durata (come le onde) non inducano azioni dinamiche avendo una dimensione poco significativa rispetto a quelle della nave.

Inoltre i risultati di questa analisi sono sensibili alla variazione della tipologia (materiale di costruzione, diametro) delle cime di ormeggio, per le quali è stata fatta un'ipotesi realistica anche se non supportata da dati specifici forniti dall'armatore della nave di progetto.



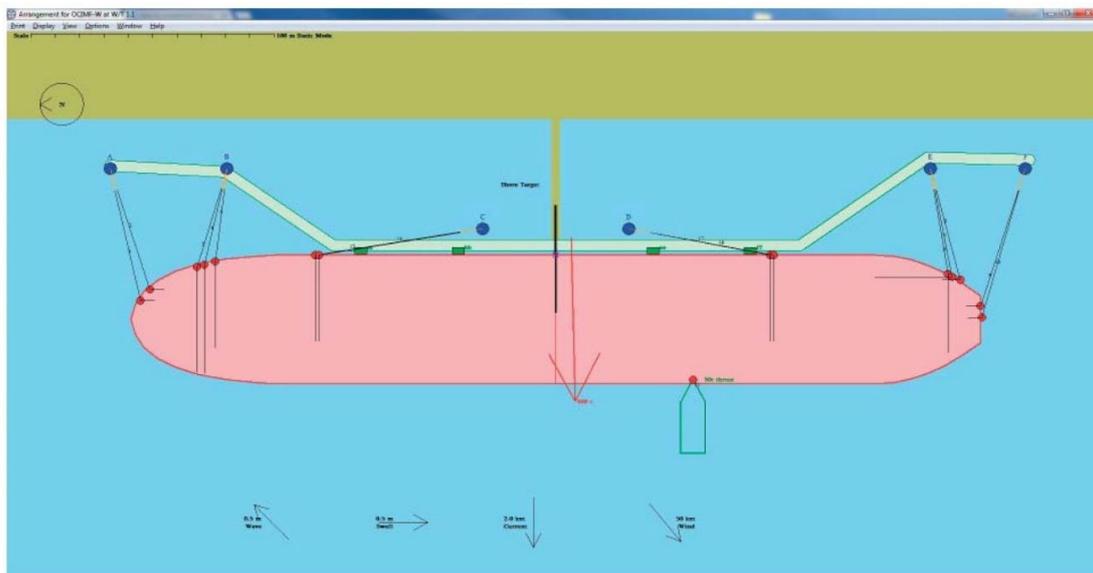
## APPENDICE A – OPTIMOOR TECHNICAL NOTE

# OPTIMOOR



Mooring Analysis Software  
for Ships & Barges

Technical Notes 01, June 2021



**OPTIMOOR is a unique, easy-to-use computer program for the analysis of vessel moorings. In use world-wide, OPTIMOOR is proven as an essential tool for vessel and port operations personnel, especially when they have to undertake assessments to meet the requirements of the Oil Companies International Marine Forum (OCIMF) and satisfy OPA-90 legislation.**

Computer simulation has in the past been the work of specialists, and was time consuming and expensive. **OPTIMOOR** is easy to use and employs the OCIMF recommended methods and formulae in a manner that can be run by any personnel to achieve results - **fast**. Licensed by Tension Technology International, the software is available in three configurations:

### OPTIMOOR STANDARD

For quayside moorings at piers, jetties and sea islands (no spread mooring, no buoys allowed in pierside, no chains in lines, no catenary effects)

### OPTIMOOR PLUS

All the configurations of OPTIMOOR standard but with added capability to include spread moorings with buoys and catenary chains (Catenary effects in chains included from both ship and anchor to buoy, catenary effects in wires included for CBM's, buoys allowed in pierside moorings.). The PLUS option also allows for batch operations which can prove very useful when considering multiple parameter combinations.

### OPTIMOOR DYNAMIC

This dynamic simulation uses vessel hydrodynamics with time varying wind and current. The user can input other time dependent forces such as wave drift. The dynamic force and response of passing ships can also be calculated.

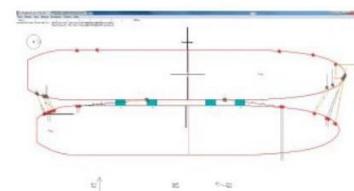
OPTIMOOR Dynamic can be run in continuous mode or in step mode to review data and vary input for example such as line failure. This program generates plots

of the time varying forces, vessel response, mooring line tensions and fender loads.

### WRM (Wave Response Module) OPTION

This enhancement is available to all versions of OPTIMOOR. It calculates the vessel response to first-order wave effects taking shallow water and solid wall effects into account. The changing line load due to vessel motion at each fairlead is calculated.

### Ship2Ship OPTION



A second ship can be added to any mooring type, pierside, turret, host at bow anchor, free drift.



## Mooring Analysis

Technical Notes 01, June 2021

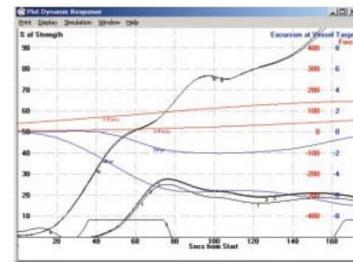
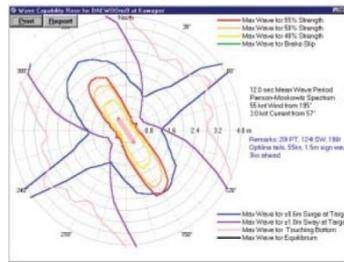
Line	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
To Bitt/Block	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
Radius (m)	0.01	0.01	0.03	0.27	0.02	0.06	0.29	0.05	0.12	0.05	0.04	0.04			
Total Line Length	621	685	1809	482	785	410	813	524	288	715	1287	1283			
Winch Capacity															
Induction Drum	20"	20"	20"	24"	20"	16"	16"	16"	15"	12"	14"	16"			
Tension (k)	46.6	42.9	41.4	7.1	46.4	18.1	19.1	75.2	14.7	75.2	38.3	33.7			
% of Strength	37%	36%	34%	5%	38%	48%	7%	67%	11%	67%	17%	17%			

Factor (m/s)	dir	dir	dir	dir	dir	dir	dir	dir	dir	dir	dir	dir	dir	dir	dir
Wind (k)	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
Bitt/Block	27.8	18.0	36.2	25.0	24.9										
V-Force (k)	77.8	83.6	6.5	136.4	84.4										

Other Load	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
Total Rope Force	82.6	85.7	39.7	138.4	88.0										
Current in Flow	20"	20"	40"	12"	16"										
Light (k)	29.7	38.0	10.2	35.5	35.6										



OPTIMOOR will run on multiple Windows formats and files are prepared in a "spread-sheet" form describing the vessel mooring system and the berth mooring points. A simple case file is then created describing the mooring arrangement for the tanker at the berth. The only other inputs required are the wind and current velocities and directions. Provision is made for entering other applied forces, for example assisting tugs, passing ships, ice, and waves. Wave dynamic effects are also considered.

OPTIMOOR can calculate the non-linear RBS (strength) and load-extension characteristics for mooring lines. Data is provided for wire, aramid, HMPE, nylon double braid, nylon plaited and stranded, polyester, and polypropylene. For the synthetic ropes, both slow and dynamic response is modelled automatically.

OPTIMOOR calculates exposure areas, wind and current coefficients, and the resulting environmental forces on the vessel.

OPTIMOOR computes and displays vessel movements and mooring forces. Mooring line loads are shown in tonnes (or kips) and percent of rated breaking strength (RBS). Lines loaded to more than any specified ratio of RBS are highlighted in red. The analysis results are also reflected on the

plan graphic display and the numeric results can be printed out.

Powerful OPTIMOOR features are easy to access. One command brings a case back to its initial conditions and resets target pretensions. Another brings all lines up to the optimum tension for minimum vessel movement. The user may alter individual line tensions (in a manner analogous to tending the mooring winch) so as to bring the mooring line load distribution into better balance. A single command sweeps the wind through 360 degrees to determine the "worst-case" loading on each line, and, a graphic wind or wave capability rosette can be generated.

OPTIMOOR has provision for initial and final draft and trim conditions and times. It also supports tidal variations via tide tables with automatic application of local correction factors. With these inputs, line tending requirements can be anticipated by stepping forward in time by minute or hour intervals. A single key command "fast-forwards" and displays the times at which various lines would become overloaded.

Vessel and port personnel can train on OPTIMOOR to learn good techniques for arranging and tending mooring lines. The advantages and problems of various

mooring arrangements can be explored and demonstrated. The time-forward feature with tide, draft and trim changes, will show how to anticipate line tending requirements and decide on what might be the best tending action at a particular time.

### Key Features

- All types of inshore and offshore moorings
- Shielding effect of piers
- In-built OCIMF methods and coefficients
- Easy reporting to RTF format
- Graphic plan with "drag & drop" moorings
- Toggle between Metric and USA units
- Time related analyses to account for vessel draft (loading) and tide level changes
- Single and multiple batch files
- Easy reporting to Word or Excel file.
- Auto generation of sea state limit curves, wind or wave capability rosette
- Fixed piers with catenary anchored buoys
- Option to lock vessel/berth data
- Comprehensive rope property database
- Auto or manual pre-tension to set-up mooring
- Wave Response Module [WRM] Option
- Ship2Ship option for side by side mooring

To download a full working demo version of OPTIMOOR, go to [www.tensiontech.com/programs/optimoor/optimoor\\_download.htm](http://www.tensiontech.com/programs/optimoor/optimoor_download.htm)

### For further information and a demonstration, contact:

Tension Technology International Ltd  
[www.tensiontech.com](http://www.tensiontech.com)  
Tel: +44(0)1323 50 41 67  
Fax: +44(0)1323 50 97 70  
[banflor@tensiontech.com](mailto:banflor@tensiontech.com)

Tension Technology International LLC  
Tel: +1 (973) 267 08 71  
[flory@tensiontech.com](mailto:flory@tensiontech.com)

© Tension Technology International Ltd  
Consultancy, Design  
and Engineering Services  
in Ropes, Textiles and  
Marine Systems

