



## TERMINAL GNL NEL PORTO CANALE DI CAGLIARI PROGETTO AUTORIZZATIVO

TERMINAL GNL NEL PORTO CANALE DI CAGLIARI  
PROGETTO AUTORIZZATIVO



### Progettazione

**Società di ingegneria incaricata per la progettazione**



COSIN S.r.l.  
SOCIETÀ DI INGEGNERIA UNIPERSONALE  
09134 CAGLIARI - VIA SAN TOMMASO D'AQUINO 18  
Tel e fax +39 070 2346768  
info@cosinsrl.it  
P.IVA 03043130925

**Progettista e responsabile per l'integrazione  
fra le varie prestazioni specialistiche**

Ing. Giuseppe Delitala



ORDINE INGEGNERI  
PROVINCIA DI CAGLIARI  
N. 4255 Dott. Ing. Giuseppe DELITALA

### Gruppo di lavoro COSIN S.r.l.

**Geologia e geotecnica**

Geol. Alberto Gorini

**Opere Civili**

Ing. Nicola Marras

**Studio di Impatto ambientale**

Ing. Emanuela Corona

**Fotosimulazioni**

Arch. Daniele Nurra

**Archeologia**

Archeol. Anna Luisa Sanna

### Consulenze specialistiche:

**Rapporto preliminare di sicurezza**

Società ICARO S.r.l.

**Opere antincendio**

Ing. Fortunato Gangemi

**Opere Marittime**

Ing. Giovanni Spissu

**Opere Strutturali**

Ing. Francesco Fiori

**Studio di impatto Acustico**

Ing. Antonio Dedoni



## STUDIO ESECUTIVO DI ORMEGGIO 1 - ELABORATI TECNICI E SPECIALISTICI

NOME FILE

D\_01\_ES\_14\_SMN\_R00

FORMATO

CODICE  
ELAB.

D 0 1 E S 1 4 S M N R 0 0

REV. A

A4

A	PRIMA EMISSIONE	Maggio 2017	Spissu	Delitala	Delitala
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO



## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA.....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>NAVI DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>ACCESSO ALL'ORMEGGIO IN BANCHINA.....</b>	<b>7</b>
3.1	PREMESSA.....	7
3.2	AREA DI ANCORAGGIO .....	7
3.3	SERVIZIO DI PILOTAGGIO .....	7
3.4	SERVIZIO DI RIMORCHIO .....	7
3.5	COMUNICAZIONI.....	7
3.6	LIMITI OPERATIVI METEOROLOGICI .....	8
3.7	MANOVRA DI PARTENZA E DI ARRIVO.....	8
3.8	MANOVRA DI ORMEGGIO.....	8
3.9	MANOVRA DI DISORMEGGIO .....	9
<b>4</b>	<b>CARATTERISTICHE DELL'ORMEGGIO IN BANCHINA .....</b>	<b>10</b>
4.1	PREMESSA.....	10
4.2	POSIZIONAMENTO IN BANCHINA E FONDALI DISPONIBILI.....	10
4.3	CALCOLO DEL PESCAGGIO MASSIMO DELLE NAVI ALL'ORMEGGIO IN BANCHINA .....	11
4.3.1	Introduzione .....	11
4.3.2	Livello del mare.....	13
4.3.3	Franco netto sottochiglia minimo .....	13
4.3.4	Massimi spostamenti verticali delle navi in banchina.....	14
4.3.5	Calcolo del pescaggio massimo delle navi all'ormeggio in banchina.....	14
4.4	ARREDI PER L'ORMEGGIO IN BANCHINA .....	15
4.4.1	Premessa .....	15
4.4.2	Verifica delle Bitte esistenti e dimensionamento dei Ganci a scocco.....	17
4.4.3	Verifica dei Fender esistenti .....	19
4.4.4	Sistema di ormeggio – Soluzione n°1 .....	25
4.4.5	Sistema di ormeggio – Soluzione n°2 .....	30
4.4.6	Ormeggi delle navi.....	33
4.5	EFFETTI DELL'ELICA SUL FONDALE .....	35
4.6	ANALISI DELL'OPERATIVITÀ MEDIA ANNUA DELLA BANCHINA.....	36
4.6.1	Premessa .....	36
4.6.2	Scenario n°1 .....	38
4.6.3	Scenario n°2 .....	46
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>48</b>



## 1 PREMESSA

L'intervento in oggetto ha come obiettivo di realizzare un terminal per il GNL (Gas Naturale Liquefatto) nel Porto Canale di Cagliari. L'impianto è stato localizzato in un'area che intercetta il tracciato delle reti di trasporto del gas GPL (Gas Petrolio Liquefatto) esistenti dell'area vasta di Cagliari, ed in prossimità della dorsale Sarroch/Oristano/Porto Torres dell'ipotetico futuro metanodotto. L'obiettivo principale è quello di garantire agli utenti civili e industriali della Sardegna la possibilità di utilizzare il gas metano come fonte energetica alternativa a quelle già presenti nell'isola.

Il Terminal sarà caratterizzato da una struttura in banchina per la connessione e lo scarico del GNL dalle navi metaniere, un complesso di tubazioni criogeniche per il trasporto del fluido nella zona impianto, un sistema di stoccaggio, pompaggio, e rigassificazione del GNL.

Nel Terminal saranno installati 18 serbatoi criogenici, 9 gruppi di pompaggio, 40 vaporizzatori ad aria ambiente (AAV) e una stazione per il filtraggio, la misura e l'odorizzazione del gas naturale propedeutica all'immissione nelle reti di trasporto. Attraverso le baie di carico per le autocisterne si potrà trasportare il GNL su gomma in tutta l'isola, o rifornire le navi, attuando così le direttive europee sull'utilizzo del GNL come combustibile per le imbarcazioni.

Il progetto proposto rientra nelle linee guida del Piano Energetico Ambientale della Regione Sardegna, ed in quelle dell'Accordo di Programma Quadro per la Metanizzazione della Sardegna. La scelta progettuale adottata è inoltre in piena sinergia con le direttive europee e nazionali, sulla realizzazione di infrastrutture per i combustibili alternativi (Direttiva 2014/94/UE e D.Lgs.257/2016).

Con il Terminal di ISGAS, il porto canale potrebbe diventare, senza ulteriori infrastrutturazioni, un polo nel mediterraneo per il rifornimento delle navi che utilizzano il GNL come carburante per il trasporto marittimo. Le infrastrutture sono infatti progettate per creare un efficiente "*Bunkering Point*" (ship to ship, truck to ship, o pipe to ship).

A tal proposito si ricorda che il porto di Cagliari fa parte dei 14 porti italiani core delle reti transeuropee di trasporto (Reti TEN-T) del Regolamento UE1315/2013, che dovranno a breve garantire la "*disponibilità di combustibili puliti alternativi*".

Il proponente del progetto è la ISGAS Energit Multiutilities S.p.A, società Concessionaria, in regime di esclusiva, del servizio di distribuzione del gas nei comuni di Cagliari, Oristano e Nuoro. Attualmente ha oltre 21.000 utenti attivi. ISGAS si occupa della distribuzione e vendita dell'aria propanata (integralmente sostituibile con il metano) attraverso reti canalizzate nei vari territori comunali.

Il Terminal è stato progettato per essere un importante punto di "*Entry*" nel sistema di metanodotti della Sardegna, attualmente in fase di progettazione. Tuttavia il Terminal GNL potrà svolgere a pieno le sue funzioni anche collegandosi alla rete di trasporto del gas già esistente a servizio dell'area vasta di Cagliari.



Il presente studio comprende le seguenti relazioni:

- Relazione n° 1: studio di manovrabilità e navigabilità portuale
- Relazione n° 2: studio esecutivo di ormeggio  
Allegati: sistemi di ormeggio (Rif. Elabb. D\_03\_PL\_29\_LON\_R00 e D\_03\_PL\_30\_LON\_R00)

La presente Relazione contiene lo studio esecutivo dell'ormeggio in banchina e si redige allo scopo di verificare, sulla base delle navi di riferimento, le seguenti condizioni progettuali relative a quanto segue:

- Accesso all'ormeggio in banchina (Capitolo 4)
- Caratteristiche dell'ormeggio in banchina, con specifico riferimento a: posizionamento in banchina, fondali disponibili, arredi di ormeggio e schema di ormeggio, studio degli ormeggi delle navi, effetti dell'elica sul fondale, analisi dell'operatività media annua della banchina.

## 2 NAVI DI RIFERIMENTO

Nelle figure seguenti si mostrano le navi di riferimento per le quali sono stati effettuati i relativi calcoli:

### Coral Methane



Figura 6-12: Mini LNG Coral Methane

Tabella 6-22: Coral Methane - dati principali

Data	Value	Unit
Capacità Nominale	7.400	m <sup>3</sup>
Tipologia contenimento	Membrane	\
L <sub>OA</sub>	117.800	m
L <sub>pp</sub>	110.200	m
B	18.600	m
D	10.600	m
Dislocamento a Pieno Carico	10842	t
Dislocamento in Zavorra	7866	t
DWT	6018	t
T Pieno carico	7.1	m
T Zavorra	5.5	m
Area Laterale in Zavorra	1484	m <sup>2</sup>
Area Laterale in Pieno Carico	1292	m <sup>2</sup>
Area Frontale in Zavorra	411	m <sup>2</sup>
Area Frontale in Pieno Carico	381	m <sup>2</sup>
Rateo di scarico	900	m <sup>3</sup> /h
Manifold	In compliance with latest edition of OCIMF	\
Altezza manifold (quota dal ponte principale)	2.68	m
Distanza manifold da centro nave (proravia)	4.2	m
Numero di line di Ormeggio	16	\
MBL	42	t
Capacità dei verricelli	31	t

Figura 1: Coral Methane

### Coral Energy



Figura 6-13: Mini LNG Coral Energy

Tabella 6-23: Coral Energy - dati principali

Data	Value	Unit
Capacità Nominale	15.600	m <sup>3</sup>
Tipologia contenimento	Membrane	\
L <sub>OA</sub>	154.950	m
L <sub>PP</sub>	146.210	m
B	22.700	m
D	14.950	m
Dislocamento a Pieno Carico	19513	t
Dislocamento in Zavorra	11994	t
DWT	12344	t
T Pieno carico	8.2	m
T Zavorra	5.4	m
Area Laterale in Zavorra	2700	m <sup>2</sup>
Area Laterale in Pieno Carico	2265	m <sup>2</sup>
Area Frontale in Zavorra	626	m <sup>2</sup>
Area Frontale in Pieno Carico	561	m <sup>2</sup>
Capacità	15,600	m <sup>3</sup>
Rateo di scarico	1,620	m <sup>3</sup> /h
Manifold	In compliance with latest edition of OCIMF	\
Altezza manifold (quota dal ponte principale)	2.00	m
Distanza manifold da centro nave (proravia)	6.0	m
Numero di line di Ormeggio	14	\
MBL	58.9	t

Figura 2: Coral Energy



### Pioneer Knutsen



Figura 6-14: Mini LNG Pioneer Knutsen

Tabella 6-24: Pioneer Knutsen - dati principali

Data	Value	Unit
Capacità Nominale	1.000	m <sup>3</sup>
Tipologia contenimento	Membrane	\
L <sub>OA</sub>	68.870	m
L <sub>PP</sub>	63.400	m
B	11.800	m
D	5.500	m
Dislocamento a Pieno Carico	1938	t
Dislocamento in Zavorra	1721	t
DWT	817	t
T Pieno carico	3.6	m
T Zavorra	3.3	m
Area Laterale in Zavorra	2700	m <sup>2</sup>
Area Laterale in Pieno Carico	2265	m <sup>2</sup>
Area Frontale in Zavorra	626	m <sup>2</sup>
Area Frontale in Pieno Carico	561	m <sup>2</sup>
Rateo di scarico	200	m <sup>3</sup> /h
Manifold	In compliance with latest edition of OCIMF	\
Altezza manifold (quota dal ponte principale)	2.56	m
Distanza manifold da centro nave (proravia)	0.0	m
Numero di line di Ormeggio	10	\
MBL	30	t

Figura 3: Pioner Knutsen



### **3 ACCESSO ALL'ORMEGGIO IN BANCHINA**

#### **3.1 Premessa**

Il presente paragrafo illustra le condizioni di accesso alla banchina di progetto per le navi LNG (GNL) di riferimento.

#### **3.2 Area di Ancoraggio**

L'area di ancoraggio viene concordata con l'autorità marittima, nel caso di attese dovute alle avverse condizioni meteo ed è predisposta al fine di ottimizzare il consumo di combustibile. Le condizioni del Porto Canale permettono una disponibilità piuttosto ampia delle aree di ancoraggio, anche subito dopo l'accesso al porto.

#### **3.3 Servizio di Pilotaggio**

Il servizio di pilotaggio sarà stabilito sulla base delle indicazioni impartite dalla locale Autorità Marittima e presumibilmente verrà effettuato sia in partenza che in arrivo. Le operazioni potranno essere eseguite entro i limiti stabiliti dall'Autorità Portuale ed in base ad un'attenta valutazione delle previsioni meteo nel paraggio in esame.

#### **3.4 Servizio di Rimorchio**

Il servizio di rimorchio sarà stabilito sulla base delle indicazioni impartite dalla locale Autorità Marittima e presumibilmente verrà effettuato sia in partenza che in arrivo. Il numero idoneo di rimorchiatori di adeguata potenza è indicativamente pari a 3 o 4, ognuno con una potenza di almeno 50 tonnellate di tiro.

#### **3.5 Comunicazioni**

Nelle comunicazioni con il terminale la nave sarà dotata di un sistema di comunicazione primario e di uno di emergenza (tale sistema è solitamente incluso nel sistema di scambio dati nave/terminale). Il sistema permetterà inoltre il collegamento alla rete telefonica nazionale per le chiamate di emergenza.



### 3.6 Limiti Operativi Meteorologici

Si indicano di seguito i limiti operativi di riferimento per le manovre delle navi LNG:

Tipologia di operazione in banchina delle navi LNG	Altezza d'onda significativa [m]		Velocità del vento [m/s]	
	Dir. Traversale	Dir. Longitudinale	Dir. Traversale	Dir. Longitudinale
Ormeggio	1-1,2	1,2-1,5	12	16
Carico/Scarico	1-1,5	1,5-2,2	15	20
Disconnessione linee	1.2-1.8	1,5-2,0	20	25
Imbarco pilota dai rimorchiatori	2,0 – 2,5		20	25

### 3.7 Manovra di partenza e di arrivo

Il transito nel Porto Canale sarà effettuato, con l'assistenza di due rimorchiatori, uno di prora e uno di poppa. La velocità da mantenere sarà sempre la minima possibile per garantire alla nave il mantenimento della posizione al centro del canale. Fuori del canale la nave procederà lentamente verso l'area di sbarco del pilota e mollerà i due rimorchiatori.

### 3.8 Manovra di ormeggio

Come indicato nei paragrafi successivi, le navi ormeggeranno al terminale solo con il fianco sinistro e con la prora verso l'uscita dal porto. Tale posizionamento è stato studiato per favorire la manovra di partenza anche in condizioni meteorologiche gravose.

La manovra di approccio al terminale prevede tipicamente le seguenti fasi:

- Manovra di evoluzione in modo da disporre la nave parallelamente alla banchina e con il manifold del vapore allineato al punto di riferimento dei bracci del carico;
- Manovra di avvicinamento alla banchina da effettuarsi mediante l'azione di 2 rimorchiatori che provvederanno a spingere la nave verso la banchina, mantenendo la nave per quanto possibile, parallela ed allineata alla banchina stessa. La velocità di avvicinamento sarà controllata e non eccederà i 3 cm/sec,

in modo tale da non danneggiare i parabordi durante l'impatto. A tale scopo la banchina sarà dotata di un sistema di monitoraggio della velocità di avvicinamento e della distanza, con pannelli indicatori visibili dalla nave, durante la manovra di avvicinamento. L'attivazione del sistema sarà automatico ed in funzione della distanza e della posizione della nave.

- Manovra di ormeggio che inizierà quando la nave sarà in posizione, allineata come concordato con il terminale e mantenuta in posizione dai rimorchiatori. I cavi saranno passati agli ormeggiatori per quanto possibile nella seguente sequenza e uno per volta: springs di prora e di poppa (con questi cavi sarà confermata la posizione finale della nave rispetto il terminale), traversini di prora e di poppa, cavi alla lunga di prora e di poppa.

I cavi di ormeggio potranno essere messi in tensione solamente quando gli ormeggiatori/terminale si saranno allontanati dalle bitte. La tensione da applicare ai cavi sarà comunicata al comandante e sarà uguale per tutti i cavi di ormeggio.

L'assetto finale della nave all'ormeggio si riassume di seguito:

- allineamento delle flange delle traverse di carico della nave con i bracci di carico del terminale, come da istruzioni del terminale;
- carico equamente distribuito sui parabordi del terminale;
- nave parallela alla banchina.

### **3.9 Manovra di disormeggio**

La manovra di disormeggio segue l'ordine opposto alla manovra di ormeggio e sarà effettuata nel seguente modo:

- operazioni di sganciamento dei cavi di ormeggio (cercando di seguire le sequenze contrarie alle sequenze di ormeggio e tenendo in conto che gli spring saranno gli ultimi cavi ad essere mollati);
- Manovra di spinta dei rimorchiatori della navi sui parabordi, effettuata in modo da contrastare le azioni meteomarine che provocherebbero l'allontanamento della nave dalla banchina.
- Manovra di partenza della nave assistita dai rimorchiatori.

## 4 CARATTERISTICHE DELL'ORMEGGIO IN BANCHINA

### 4.1 Premessa

Il presente paragrafo illustra le caratteristiche dell'ormeggio in banchina con riferimento alle navi di progetto.

Le caratteristiche delle navi di riferimento sono mostrate nella figura seguente:

Vessel Name	Lpp	B	Draft T Boat min	Draft T Boat max	Tide	Draft T min	Draft T max	Bottom depth h min
[ ]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
Coral Methan	110,2	18,6	5,5	7,1	0,38	5,88	7,48	8,54
Coral Energy	146,1	22,7	5,4	8,2	0,38	5,78	8,58	8,54
Pineer Knutsen	63,4	11,8	3,3	3,6	0,38	3,68	3,98	8,54

Figura 4: Navi di riferimento

Si noti che:

- il pescaggio massimo varia a seconda delle condizioni di carico da 4 m a 8,6 m circa;
- la lunghezza varia da 65 m a 150 m circa.

### 4.2 Posizionamento in banchina e fondali disponibili

La figura seguente mostra il posizionamento in banchina della Coral Energy che presenta le dimensioni maggiori:

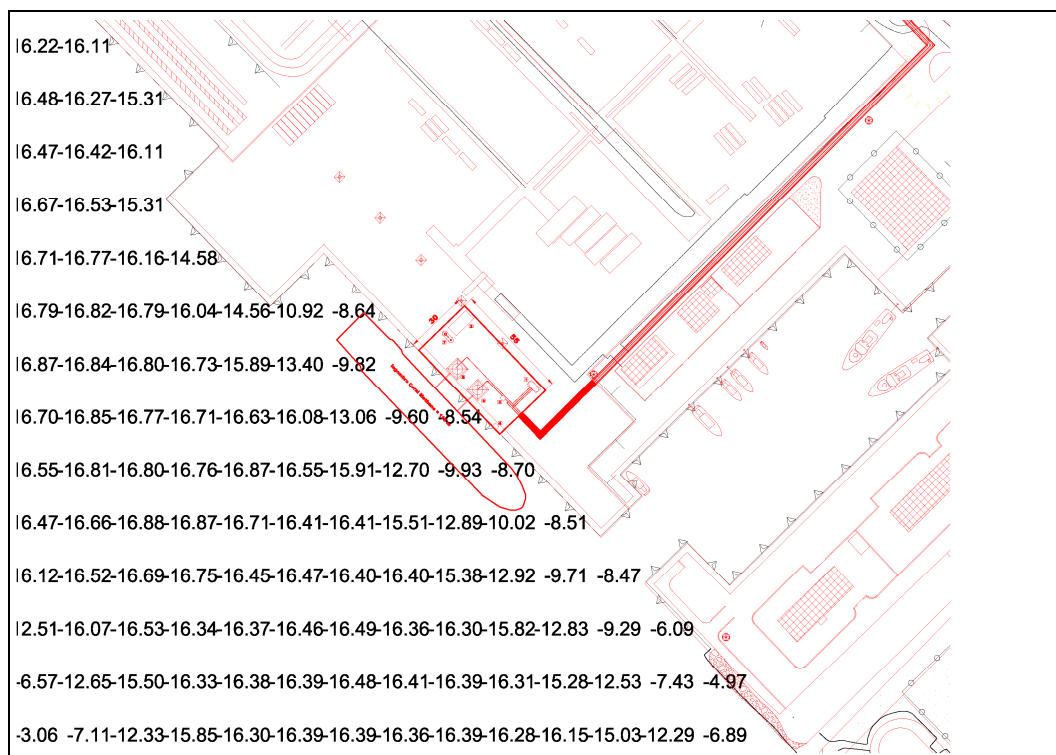


Figura 5: Coral Energy

Si noti che la profondità minima in banchina risulta pari ad 8,54 m.

### 4.3 Calcolo del pescaggio massimo delle navi all'ormeggio in banchina

#### 4.3.1 Introduzione

La nave di riferimento per l'analisi è la Coral Energy di dimensioni più elevate, che presenta un pescaggio variabile in relazione alle condizioni di carico da 5,4 m ad 8,2 m. Nel presente paragrafo si calcolano le condizioni di carico limite per l'accesso alla banchina.

Il calcolo viene condotto secondo le linee guida AIPCN raccolte nella pubblicazione "HARBOUR APPROACH CHANNELS DESIGN GUIDELINES, PIANC REP. NO. 121 (2014)", come già effettuato per la relazione n°1.

In conformità alle succitate linee guida si identificano i seguenti parametri:

- Profondità del fondale  $h$ ;
- massima immersione della chiglia della nave  $T_{max}$  (al netto di specifici fattori di tolleranza da quantificare nel caso specifico);

- tirante idrico UKC<sub>netto</sub>, “franco netto sotto chiglia” (net underkeel clearance).

Sulla base di tali considerazioni la profondità minima dei fondali nelle aree portuali necessaria a garantire la manovrabilità della nave di progetto in sicurezza è data dalla seguente relazione:

$$h_{\min} - \Delta h_{\text{marea}} = T_{\max} + \text{UKC}_{\text{netto}} + \Delta T_{\text{ormeggio}} + \Delta T_{\text{dragaggio}}$$

dove:

$\Delta h_{\text{marea}}$ : massimi “abbassamenti” del livello marino dovuti alla bassa marea di progetto;

$T_{\max}$ : massimo pescaggio della nave nelle condizioni di carico di progetto;

UKC<sub>netto</sub>: franco netto sottochiglia

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

$\Delta T_{\text{dragaggio}}$ : incremento di pescaggio della nave dovuto alle tolleranze di dragaggio.

La somma del termine UKC<sub>netto</sub> con il termine  $\Delta T_{\text{ormeggio}}$  viene detta “franco lordo sottochiglia”. Il fattore  $\Delta T_{\text{ormeggio}}$  di progetto è dato dalla combinazione dei movimenti di pitch, roll e heave che massimizzano l’incremento del pescaggio della nave in condizioni meteomarine limite per l’operatività.

La figura seguente illustra i movimenti che influenzano direttamente il pescaggio della nave:

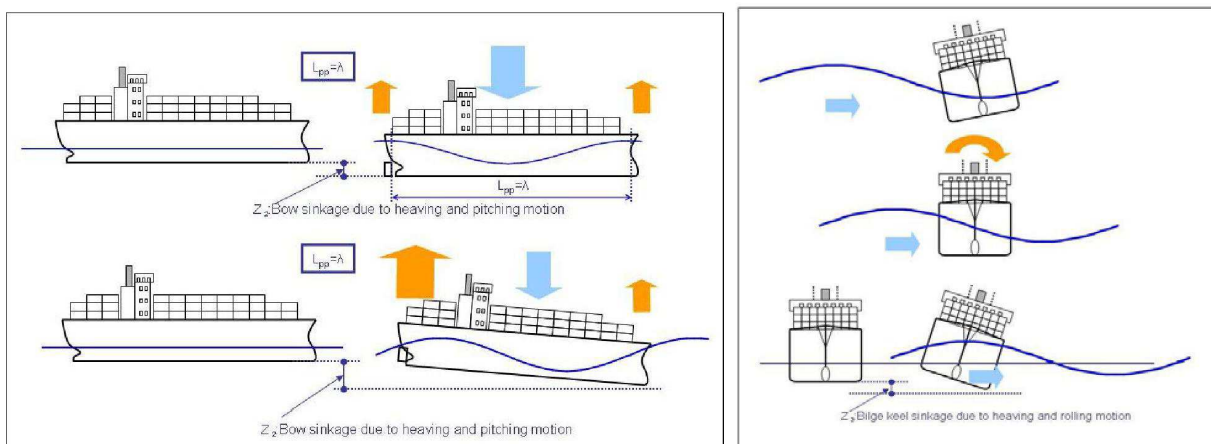


Figura 6: Movimenti della nave che influenzano il pescaggio

La somma del termine  $UKC_{netto}$  con il termine  $\Delta T_{ormeggio}$  e con il termine  $\Delta T_{dragaggio}$  viene detta "franco lordo sotto-chiglia" (gross underkeel clearance) e rappresenta il tirante minimo richiesto sottochiglia al lordo di tutte le varie tolleranze sul pescaggio della nave. La figura seguente, illustra lo schema di riferimento per il calcolo:

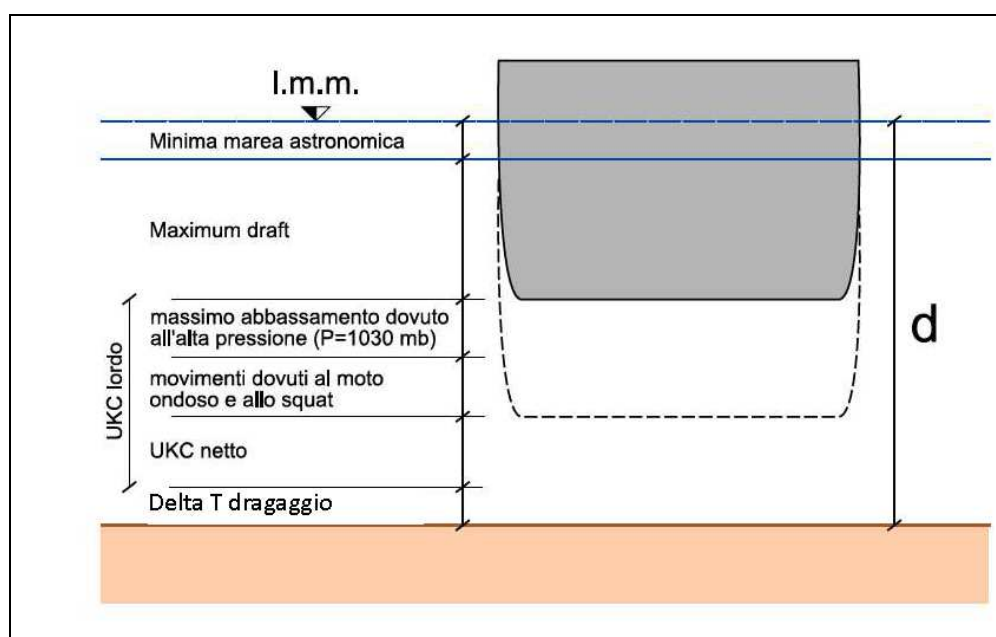


Figura 7: Calcolo del franco lordo sotto-chiglia

#### 4.3.2 Livello del mare

In base alle considerazioni espone nella Relazione n°1 (paragrafo 1.3), l'innalzamento massimo del livello marino, al netto delle variazioni a lungo termine è pari a  $\Delta h_{marea} = -0.38$  m.

#### 4.3.3 Franco netto sottochiglia minimo

Il franco netto sottochiglia è un parametro riferito alle più sfavorevoli condizioni di manovrabilità della nave, all'interno dell'area portuale in condizioni di vento e di onda, ed è pari alla distanza minima tra la chiglia ed il fondale di progetto, nelle suddette condizioni limite.

Si tratta dunque di un franco minimo di sicurezza (sotto chiglia), valutato in considerazione del massimo pescaggio della nave e considerando l'abbassamento del livello marino associato alla bassa marea di riferimento che dipende dalla natura del





fondale (sabbioso o roccioso), dalle condizioni di manovra, e dal “danno” accettabile che si vuole ammettere per il rischio di incagliamento/arenamento dell'imbarcazione.

Nel presente progetto, in considerazione quanto riportato nel Rapporto 121-2014 del PIANC si assume nelle aree di manovra, per tutte le navi di progetto, un franco netto sotto chiglia  $UKC_{netto}$  pari a 50 cm (conformemente a quanto assunto nella Relazione n°1).

#### **4.3.4 Massimi spostamenti verticali delle navi in banchina**

Si consideri che per la valutazione dei massimi spostamenti verticali delle navi all'ormeggio in banchina, la condizione operativa limite è la seguente (come indicato nei paragrafi precedenti):

- Velocità del vento < 20 m/s (da qualsiasi direzione);
- Altezza d'onda massima < 1,2-1,5 m.

Tale condizione determina il raggiungimento del valore limite degli spostamenti ammessi in banchina al fine di consentire le operazioni delle navi LNG.

Per tale condizione, a favore della sicurezza si considera una massima oscillazione della nave LNG pari a  $\Delta T_{ormeggio}=50$  cm (che tiene conto delle eventuali sesse). In tale fattore si includono anche le tolleranze di dragaggio ( $\Delta T_{dragaggio}$ ), tenendo comunque presente che presumibilmente verranno effettuate le normali operazioni di dragaggio periodico dei fondali da parte dell'Autorità Portuale.

#### **4.3.5 Calcolo del pescaggio massimo delle navi all'ormeggio in banchina**

Nelle condizioni succitate, e considerando che la minima profondità in banchina risulta pari ad 8,54 m, il pescaggio massimo delle navi di progetto all'ormeggio in banchina risulta pari a 7,16 m circa come s'illustra nella figura seguente:

Boat	Capacity	Vessel Name	Lpp	B	Draft T Boat min	Draft T Boat max	Tide	Draft T min	Draft T max	Bottom depth h min	UKC	Vertical displacements	Draft T Design
[ ]	[mc]	[ ]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
1	13.000	Coral Methan	110,2	18,6	5,5	7,1	0,38	5,88	7,48	8,54	0,50	0,50	7,16
2	13.000	Coral Energy	146,1	22,7	5,4	8,2	0,38	5,78	8,58	8,54	0,50	0,50	7,16
3	5.400	Pineer Knutsen	63,4	11,8	3,3	3,6	0,38	3,68	3,98	8,54	0,50	0,50	7,16

Figura 8: Coral Energy

Si noti quanto segue:

- La Coral Methan presenta un pescaggio massimo pari a 7,48 m (nelle condizioni di pieno carico) e dunque l'accesso in banchina può effettuarsi con una percentuale di carico pari a circa il 95% (corrispondente al pescaggio calcolato pari a 7,16 m);
- La Coral Energy presenta un pescaggio massimo pari a 8,58 m (nelle condizioni di pieno carico) e dunque l'accesso in banchina può effettuarsi con una percentuale di carico pari a circa l'83% (corrispondente al pescaggio calcolato pari a 7,16 m);
- La Pioneer Knutsen presenta un pescaggio massimo pari a 3,6 m (nelle condizioni di pieno carico) e dunque l'accesso in banchina può effettuarsi con una percentuale di carico al 100 % (corrispondente al pescaggio calcolato pari a 7,16 m).

I pescaggi sopraindicati si riferiscono a navi cariche di metano. Nel caso che il carico sia di GPL, la percentuale di carico, che garantirebbe lo stesso pescaggio limite pari a 7,16 m aumenterebbe (considerando il minor peso specifico del GPL rispetto al metano).

#### 4.4 *Arredi per l'ormeggio in banchina*

##### 4.4.1 Premessa

Di seguito si illustrano due soluzioni proposte:

- Sistema di ormeggio – Soluzione n°1, che prevede al posto delle bitte esistenti in banchina l'installazione di nuovi ganci a scocco indipendenti;
- Sistema di ormeggio – Soluzione n°2 (soluzione prescelta), che prevede che prevede l'utilizzo delle bitte esistenti.

La soluzione prescelta è la soluzione n°2, che risulta funzionale all'ormeggio in progetto ed in termini economici risulta più vantaggiosa. In ambedue le soluzioni si adottano i fender esistenti.

Di seguito si illustrano le caratteristiche delle bitte e dei fender come rilevato in situ:

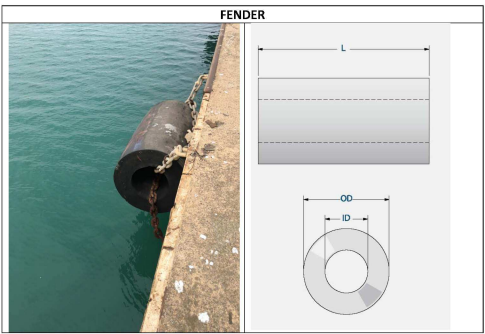
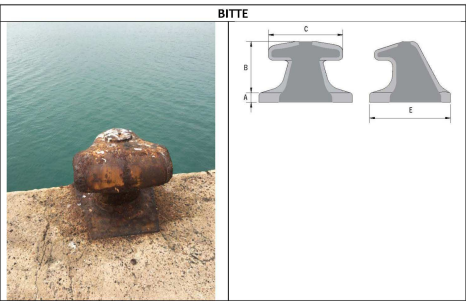
	
<p>Dimensioni rilevate: L=1,4 m; OD=1,0 m; ID=0,5 m; In base alle tabelle delle aziende produttrici, per tale tipologia di fender, l'energia massima di accosto risulta pari a 11 tm.</p>	<p>Dimensioni rilevate: B=0,5 m; C=0,6 m; E=0,6 m; In base alle tabelle delle aziende produttrici per tale tipologia di bitta, il tiro massimo della bitta corrisponde a circa 100 t.</p>

Figura 9: Fender e Bitte esistenti

Nei punti seguenti si espongono:

- Verifica delle Bitte esistenti (soluzione n°2) e dimensionamento dei Ganci a scocco (soluzione n°1);
- Verifica dei Fender esistenti (valida per ambedue le soluzioni);
- Calcolo degli ormeggi delle navi (valida per ambedue le soluzioni).

#### 4.4.2 Verifica delle Bitte esistenti e dimensionamento dei Ganci a scocco

Il calcolo del tiro sui ganci a scocco (soluzione n°1) o sulle bitte esistenti (soluzione n°2) è stato condotto in conformità al codice "Recommendations of the Committee for Waterfront Structures, Harbours and Waterways EAU 2004", come indicato nella figura seguente:

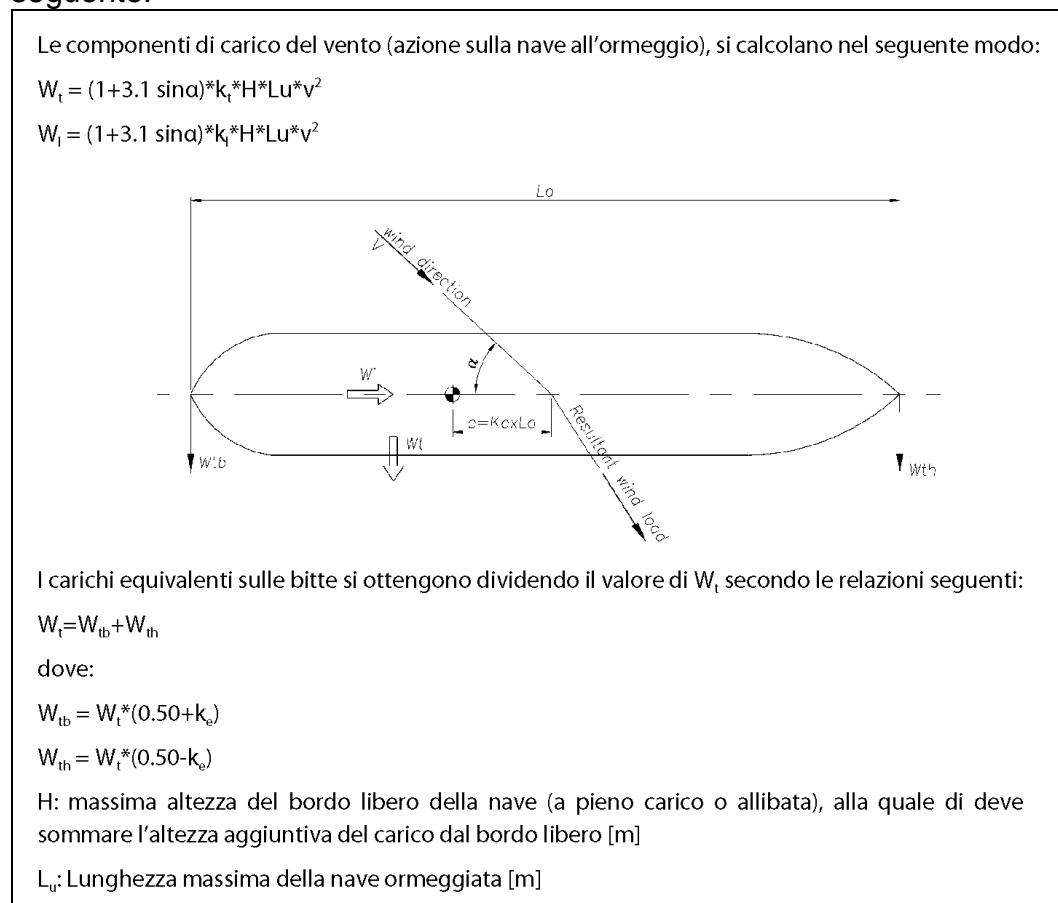


Figura 10: Calcolo del tiro sui ganci a scocco

Inoltre si assumono:

- Velocità del vento pari a 60 nodi;
- $K_t = 16 \cdot 10^{-5}$
- $K_l = k_e = 0$
- Wind direction =  $90^\circ$

Al carico delle bitte viene applicato un coefficiente di sicurezza pari ad 1,25.

La tabella seguente mostra i dettagli del calcolo delle bitte per la nave di maggior dislocamento:

Calcolo delle bitte di ormeggio per la nave Coral Energy															
$\alpha$	Ke	Kt	Kl	Tide	Qboat	Qboat	Qboat	Draft	H	Lu	v	Wtb	Wth	Wt	Wl
[deg]	[ ]	[ ]	[ ]	[m]	Impalc.	Scafo	Murat	[m]	[m]	[m]	[m/s]	[KN]	[KN]	[KN]	[KN]
90	0	0,000161	0	0,38	3	10	11	8,58	9,80	146,1	30,9	451	451	902	0

Coeff	Tiro	Tiro	Tiro	Tiro
$\gamma$	norm	norm	orizz	orizz
[KN]	[KN]	[t]	[KN]	[t]
1,25	564	56	564	56

Figura 11: Calcolo Tiro Bitta per la Coral Energy

Il calcolo produce un valore di circa 60 t.

Le indicazioni della letteratura relative ai valori di interasse e di tiro nominale alle bitte, riferiti ad ormeggi lungo banchine continue tradizionali (tipo "alongside berth"), si illustrano di seguito:

- raccomandazioni contenute nel BS 6349:Part 4:1994 "Code of practice for design of fendering and mooring system";
- indicazioni fornite da Carl. A. Thoresen in "Port Designer's Handbook: Recommendations and Guidelines" (2003).

Ships with displacement in tons up to	Bollard load P in kN	Approximate spacing between bollards in metres	Bollard load normal from the berth in kN/m berth	Bollard load along the berth in kN/m berth
2000	100	5-10	15	10
5000	200	10-15	15	10
10 000	300	15	20	15
20 000	500	20	25	20
30 000	600	20	30	20
50 000	800	20-25	35	20
100 000	1000	25	40	25
200 000	1500	30	50	30

Figura 12: Interasse e tiro bitte in funzione delle dimensioni delle navi (indicazioni da letteratura)

La figura sopra riassume le indicazioni di massima (secondo la letteratura suddetta) relative al tiro ed all'interasse delle bitte in funzione delle dimensioni delle navi ed in particolare del loro dislocamento. Considerando che il massimo dislocamento a pieno carico risulta pari a circa 20.000 t (Coral Energy), il calcolo effettuato risulta verificato positivamente (poiché il tiro calcolato è pari a 60 t -600 KN - che risulta maggiore di 500 KN). Le bitte esistenti per le quali si è stimato un tiro massimo di 100 t (secondo le indicazioni dell'Autorità Portuale) sono dunque verificate.

#### 4.4.3 Verifica dei Fender esistenti

L'energia cinetica prodotta durante l'attracco della nave deve essere assorbita da un sistema di parabordi idoneo. Tale dimensionamento viene eseguito in base a metodi deterministici, che si basano sulle indicazioni contenute nelle "Linee guida per la progettazione di sistemi di parabordo: 2002" (AIPCN).

L'energia cinetica di accosto (*Berthing Energy*) si calcola dunque attraverso la seguente relazione:

$$E_N = F_S \cdot \frac{1}{2} \cdot M_D \cdot (V_B)^2 \cdot C_M \cdot C_E \cdot C_S \cdot C_C$$

Dove:

- $F_S$  è il coefficiente di sicurezza che tiene in conto del cosiddetto impatto anomalo dovuto essenzialmente ad errori umani, guasti, combinazioni atmosferiche eccezionali,....;
- $M_D$  è il dislocamento (displacement) della nave in tonnellate;
- $V_B$  è la velocità di accosto della nave in m/s ortogonale alla linea di ormeggio. Il suo valore dipende dal grado di esposizione della banchina alle avverse condizioni meteomarine, dal dislocamento della nave e dalle condizioni di attracco (in termini di facilità/difficoltà di attracco).

La figura seguente sintetizza il metodo di calcolo della velocità di accosto:



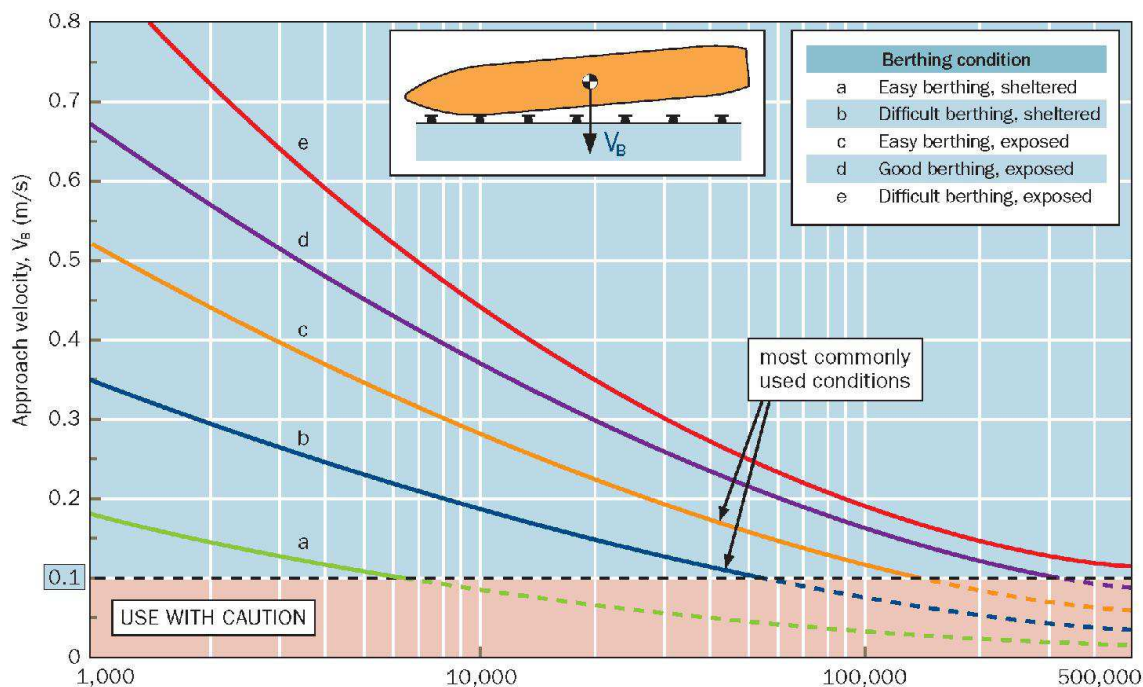


Figura 13: Calcolo velocità di accosto per ogni tipologia di nave

- CM (Virtual Mass Factor) è un coefficiente che tiene conto del fatto che una notevole massa d'acqua si sposta con la nave (Hydrodynamic mass coefficient), quantità che aumenta col pescaggio e decresce con la larghezza della nave. L'effetto di tale massa d'acqua è notevole in quanto continua a spingere la nave anche quando essa è ormai ferma all'ormeggio. La prima figura sintetizza lo schema di calcolo adottato:

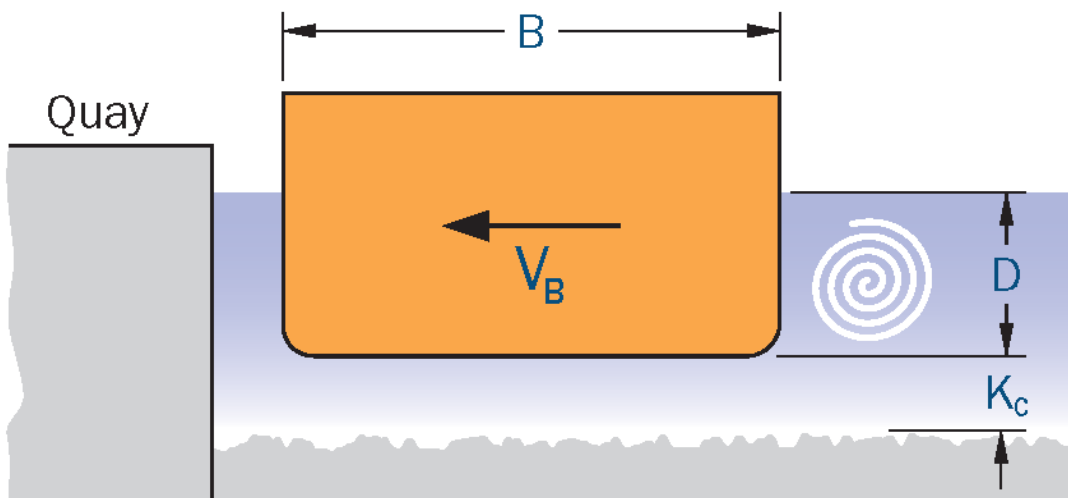


Figura 14: Calcolo del coefficiente di massa aggiunta

PIANC (2002)	Shigera Ueda (1981)	Vasco Costa* (1964)	
for $\frac{K_c}{D} \leq 0.1$ $C_M = 1.8$	$C_M = \frac{\pi \times D}{2 \times C_B \times B}$	$C_M = 1 + \frac{2D}{B}$	where, D = draft of vessel (m) B = beam of vessel (m) L <sub>BP</sub> = length between perpendiculars (m) K <sub>c</sub> = under keel clearance (m)
for $0.1 \leq \frac{K_c}{D} \leq 0.5$ $C_M = 1.875 - 0.75 \left[ \frac{K_c}{D} \right]$			
for $\frac{K_c}{D} \geq 0.5$ $C_M = 1.5$			
* valid where V <sub>B</sub> ≥ 0.08m/s, K <sub>c</sub> ≥ 0.1D			

La figura sopra mostra le espressioni proposte per il calcolo del coefficiente di massa aggiunta. In questo caso si utilizza la relazione di Vasco Costa (1964).

- CE (Eccentricity Factor) è il coefficiente di eccentricità che tiene in conto della riduzione dell'energia cinetica trasmessa ai fenders quando l'urto non avviene parallelamente alla linea di ormeggio (CE=1) ma risulta invece inclinato (CE<1), nel qual caso una notevole dissipazione dell'energia può avvenire attraverso la rotazione della nave. La figura seguente mostra lo schema di calcolo:

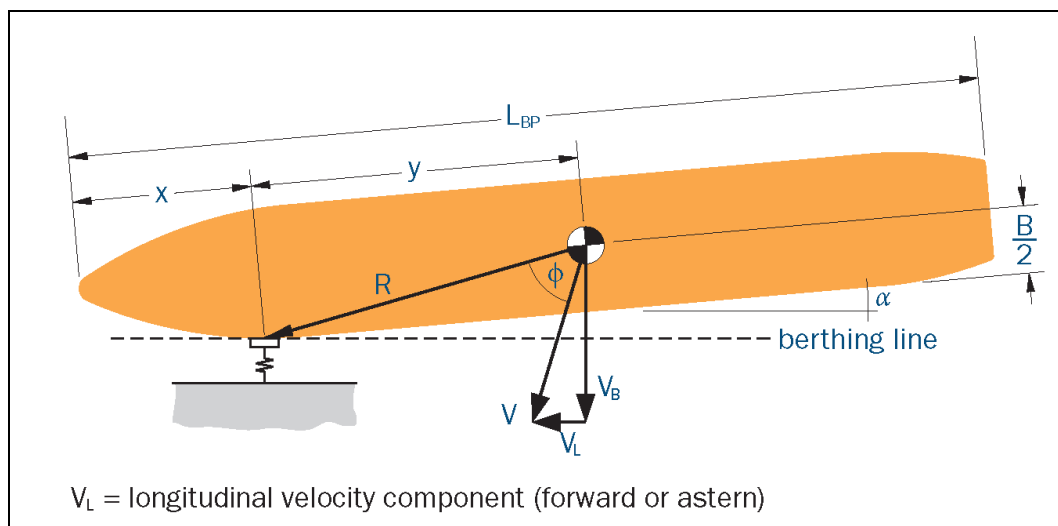


Figura 15: Calcolo del coefficiente di eccentricità

Per il calcolo di tale coefficiente si utilizza la seguente relazione:

$$C_E = \frac{(K^2 + R^2 \cos^2 \phi)}{(K^2 + R^2)}$$

Dove:

$K = (0,19 C_b + 0,11)L$  raggio giratore della nave (m);

$R =$  distanza del baricentro della nave dal punto di impatto (m);

$\phi =$  angolo tra la congiungente il punto di contatto con il fender al baricentro della nave e il vettore velocità;

$L_{bp} =$  lunghezza tra i perpendicolari della nave (m);

•  $\gamma_w =$  densità dell'acqua di mare (t/m<sup>3</sup>);

•  $C_b = M_D / (L_{bp} * B * D \cdot \gamma_w)$  coefficiente di blocco della nave calcolato secondo la figura seguente:

Typical block coefficients ( $C_B$ )	
Container vessels	0.6-0.8
General Cargo and bulk carriers	0.72-0.85
<b>Tankers</b>	<b>0.85</b>
Ferries	0.55-0.65
Ro-Ro vessels	0.7-0.8
<i>Source: PIANC 2002; TABLE 4.2.2</i>	

Figura 16 Calcolo coefficient di blocco

•  $C_s$  (Softness Factor) é il coefficiente che tiene conto dell'energia eventualmente assorbita dalla deformazione dello scafo della nave. Si assume per sicurezza il valore pari ad 1,0 come indicato nella figura seguente:

$C_s = 1.0$	Soft fenders ( $\delta_f > 150\text{mm}$ )
$C_s = 0.9$	Hard fenders ( $\delta_f \leq 150\text{mm}$ )

Figura 17: Calcolo coefficiente di blocco

- CC (berth configuration factor o cushion factor) è il coefficiente che consente di considerare la riduzione dell'energia d'accosto per effetto di una particolare tipologia costruttiva della banchina. Le banchine a parete verticale (come nel presente caso) attenuano l'urto della nave per l'effetto cushioning, che è l'effetto ammortizzante dell'acqua intrappolata tra lo scafo e la banchina.

La figura seguente mostra lo schema di calcolo ed i valori raccomandati da PIANC:

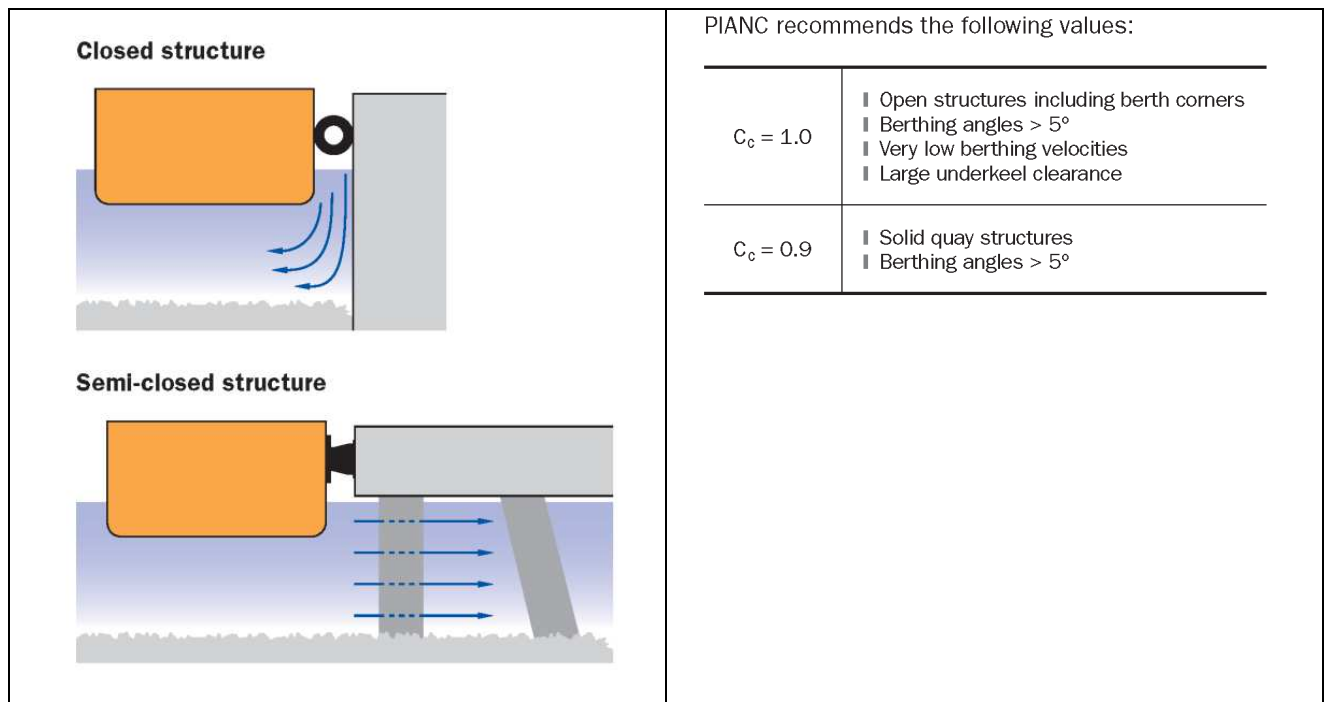


Figura 18: Calcolo del coefficiente di configurazione dell'attracco

Si assegna nel presente caso  $C_c=0,9$ .

La tabella seguente mostra i dettagli del calcolo dei fender per la nave di maggior dislocamento:

Calcolo dei fender di ormeggio per la nave Coral Energy																
$\alpha$	DWT	vB	E	LBp	B	Draft	H banch	CB	K	y	R	Ce	Kd/D	Cm	Cs	Cc
[deg]	[t]	[m/s]	[Knm]	[m]	[m]	[m]	[m]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]
6	12344	0.13	104.31	146.10	22.70	8.20	0.50	0.44	28.36	36.53	38.25	0.35	-0.94	1.80	1	0.95

EN	Fs	EA	Loa	R	Fender Height	Fender Spacing	Fender Spacing	Fender Spacing
[Knm]	[ ]	[Knm]	[m]	[m]	[m]	PIANC	BS	Thor
63.3	1.25	79	155.00	71.82	1.00	16.92	9.51	11.63

Figura 19: Calcolo dei Fender per la Coral Energy

Il calcolo produce:

- Energia di accosto pari a circa 0,8 tm;
- Interasse fender pari a circa 17 m.

Considerando che:

- I fender esistenti presentano una massima energia pari a 1,1 t, il calcolo risulta positivo;
- la massima pressione sul fender risulta inferiore a 100 KN/mq (valore compatibile con la pressione ammissibile sullo scafo della nave) e dunque i fender esistenti sono verificati.

L'interasse dei fenders per un attracco su *breasting* come quello oggetto del presente intervento è regolamentato da diverse normative e raccomandazioni quali:

- le BS (BSI 6349:Part 4:1994) fissano un interasse che deve risultare non maggiore di  $0,15 \cdot L_s$  (dove  $L_s$  è la lunghezza della nave di minori dimensioni che si prevede possa utilizzare la banchina);
- Carl A Thoresen (in "Port Designer's Handbook: Recommendations and Guidelines", 2010) suggerisce interassi pari al 5-10% di  $Loa$  (Lunghezza "fuori tutto" della nave) per navi fino a 20.000 DWT. Per navi con DWT maggiore di tale limite l'interasse può essere assunto pari al 25-50% di  $Loa$ ;
- il PIANC ("Guidelines for the Design of Fenders Systems: 2002") che propone la seguente formula per il calcolo dell'interasse dei fender:  $F_s = (4 \cdot H \cdot R - H^2)^{1/2}$ , ove  $F_s$  è l'interasse dei fender,  $H$  è l'altezza del fender,  $R$  è il raggio di curvatura della prua della nave;

Il calcolo dell'interasse risulta mediamente pari a 10/15 m circa e lo stato attuale risulta dunque congruente con tale calcolo.

#### 4.4.4 Sistema di ormeggio – Soluzione n°1

Il sistema di ormeggio proposto prevede l'installazione in banchina di:

- ganci di ormeggi tripli;
- 4 ganci di ormeggio doppi;
- 12 fender esistenti.

Gli schemi di ormeggio per ogni nave, si illustrano nella figure seguenti:

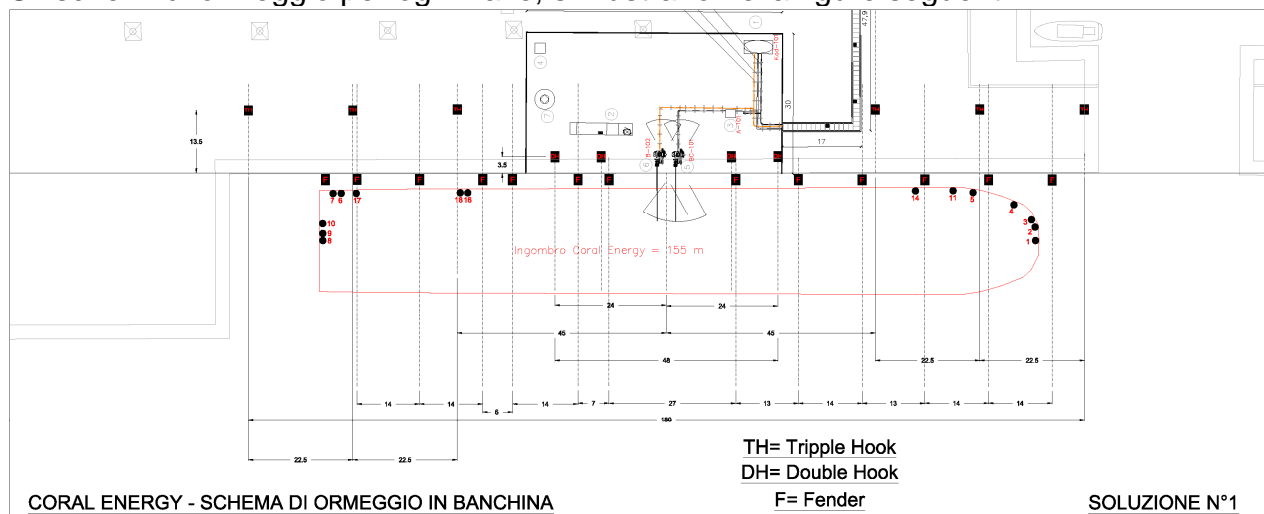


Figura 20: Schemi di ormeggio Coral Energy – Soluzione n°1



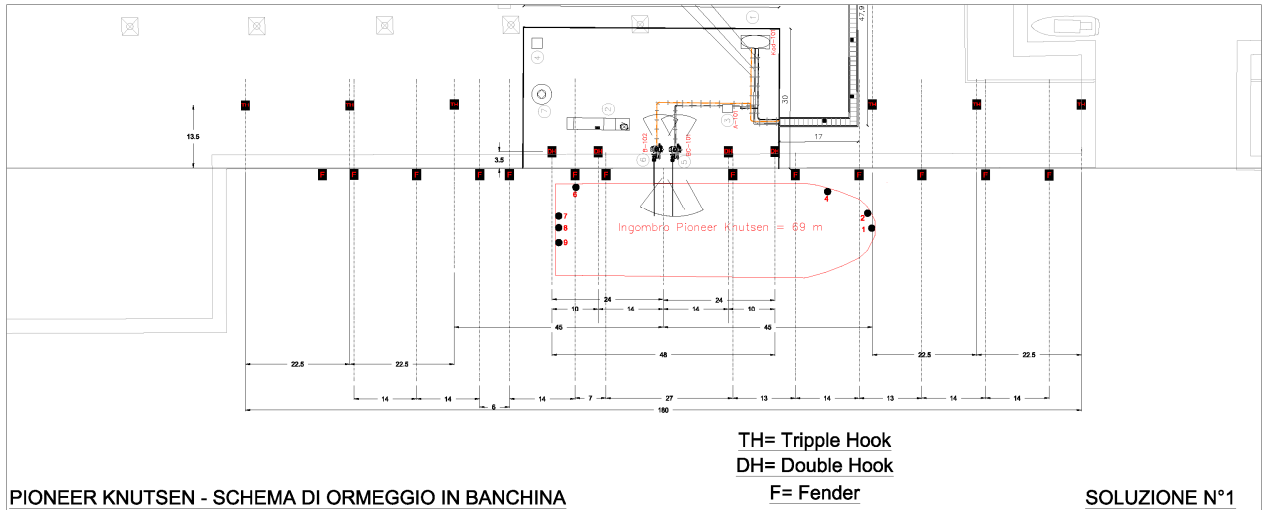


Figura 21: Schemi di ormeggio Pioner Knutsen – Soluzione n°1

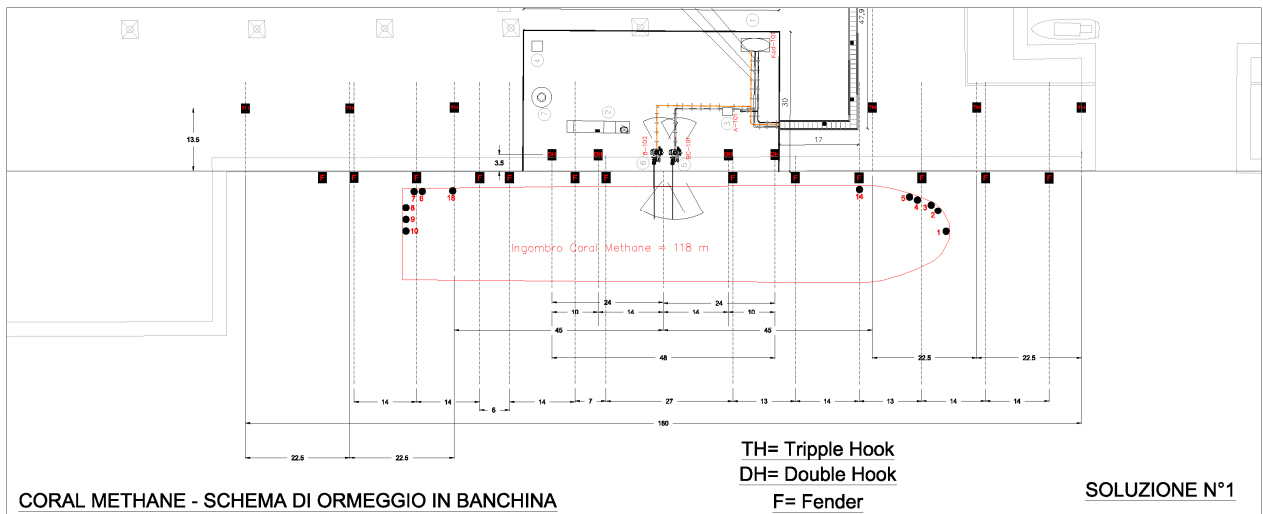


Figura 22: Schemi di ormeggio Coral Methane – Soluzione n°1

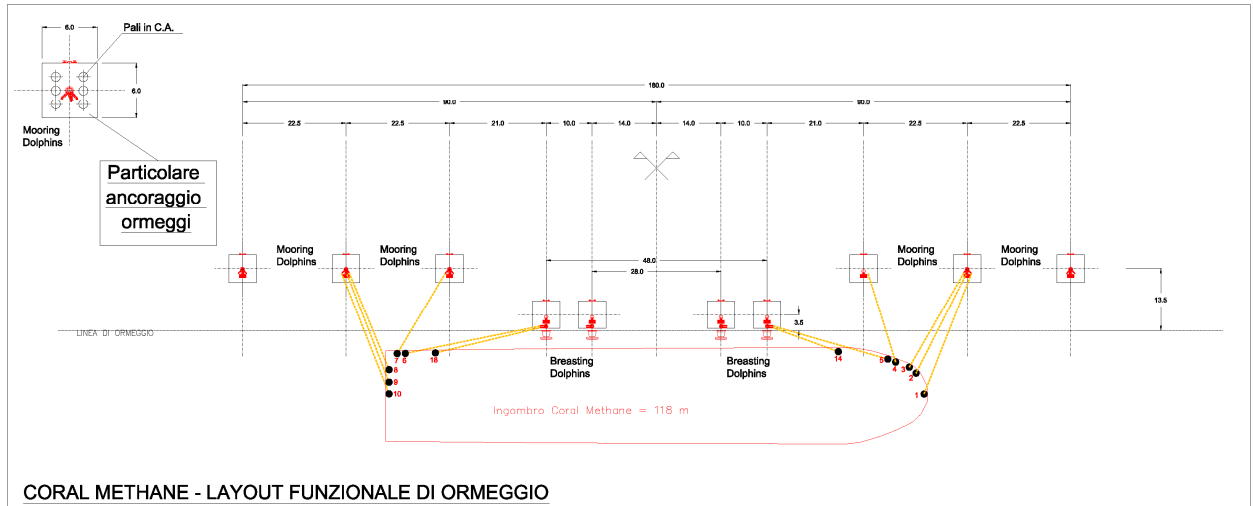
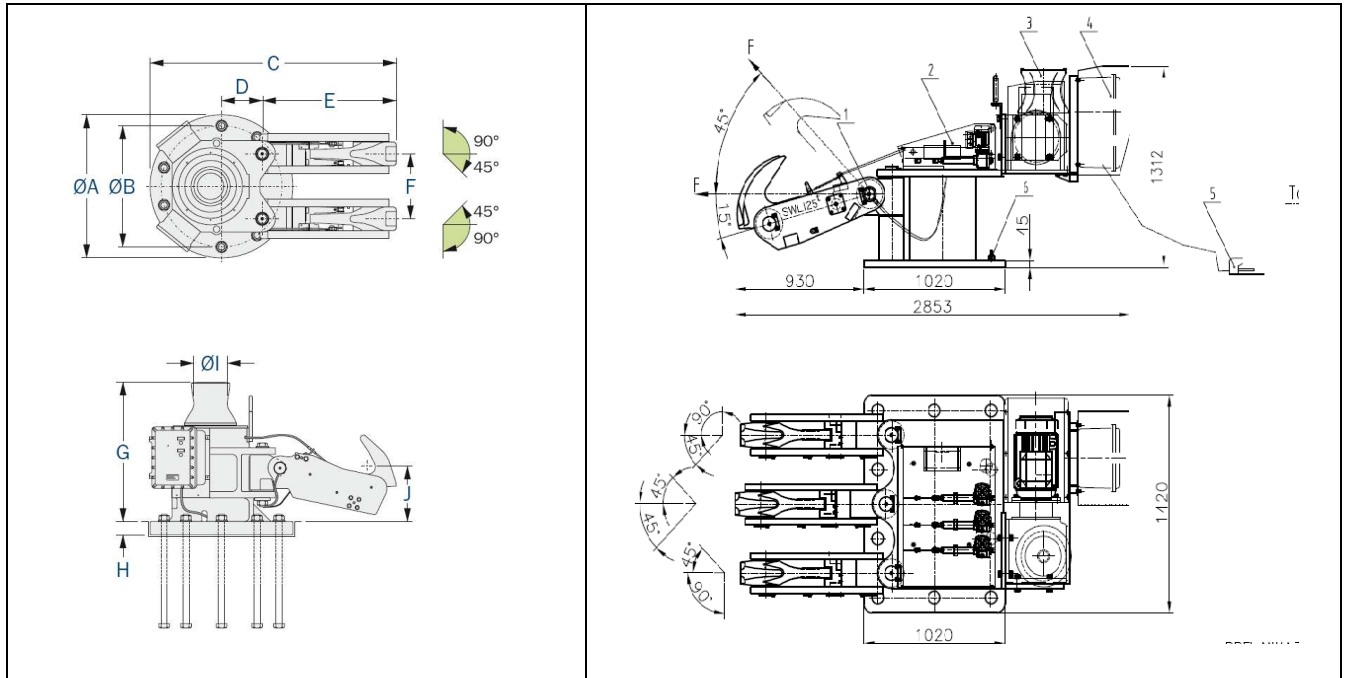


Figura 23: Layout funzionale di ormeggio Coral Methane – Soluzione n°1

Per la soluzione n°1, si propone la tipologia di ganci a scocco da 60 t, conforme ai risultati del calcolo ed individuata nella figura seguente:



## STANDARD MODEL NUMBERS

Model Number	Qty QRH	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	HD Bolt QTY	Shipping Mass kg
<b>CB45 Series (Safe Working Load = 45 tonnes)</b>													
CB45-01	Single	1100	900	2050	550	950	-	1215	120	305	480	4	1330
CB45-02	Double	1100	900	1935	435	950	450	1215	120	305	480	5	1670
CB45-03	Triple	1300	1100	1970	300	950	510	1215	120	305	480	6	2190
CB45-04	Quad.	1500	1300	2140	440	950	450	1215	160	305	480	10	2980
<b>CB60 Series (Safe Working Load = 60 tonnes)</b>													
CB60-01	Single	1100	900	2005	550	905	-	1215	120	305	435	4	1430
CB60-02	Double	1100	900	1890	435	905	450	1215	120	305	435	5	1870
CB60-03	Triple	1300	1100	1925	300	905	510	1215	120	305	435	6	2490
CB60-04	Quad.	1500	1300	2095	440	905	450	1215	160	305	435	10	3380

Figura 24: Tipologia di Ganci a scocco proposti nella soluzione n°1

Si prevede di utilizzare come riferimento il layout ottimale delle linee di ormeggio suggerito da OCIMF di seguito illustrato:

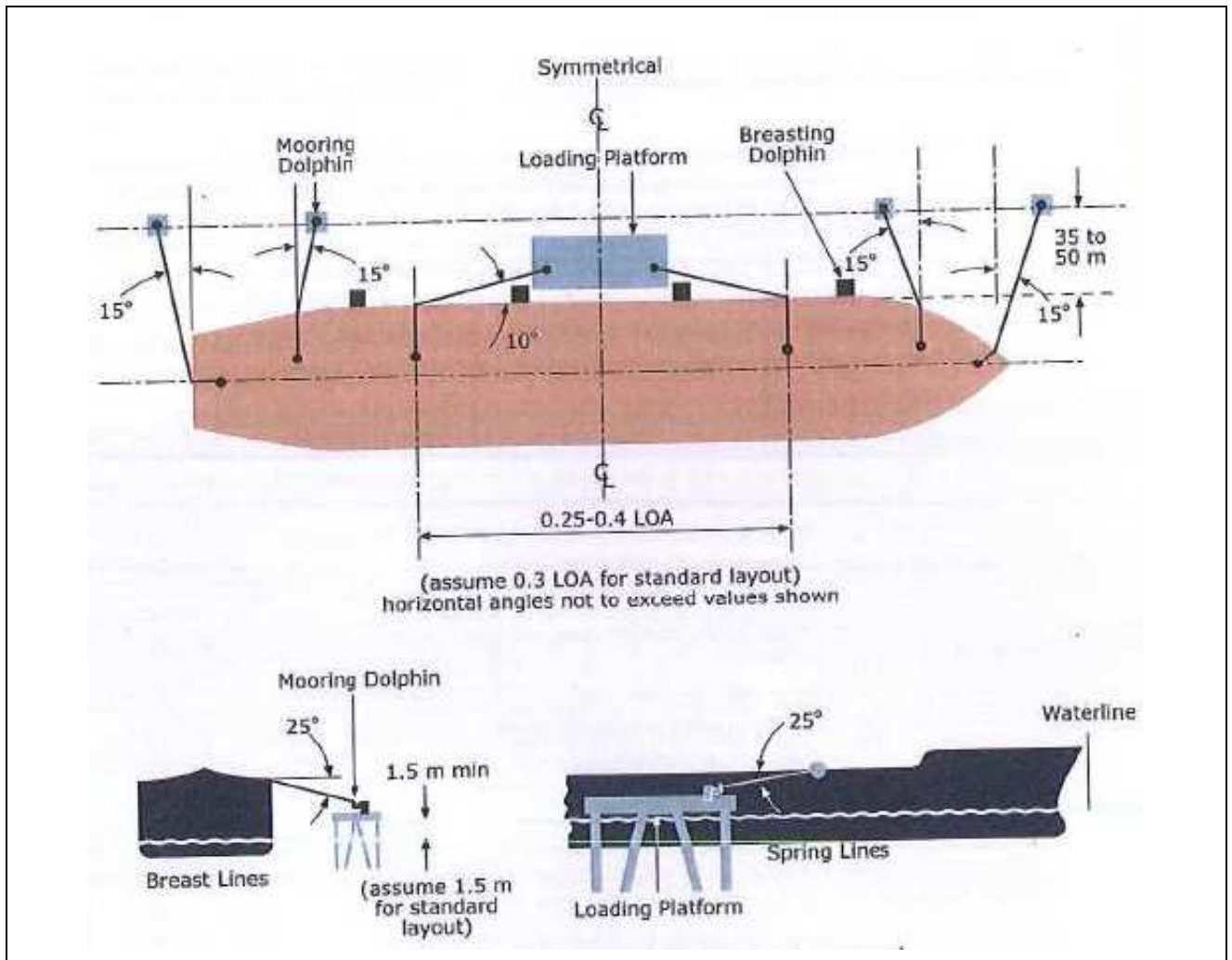


Figura 25: Layout ottimale sistema di ormeggio – Soluzione n°1

La sistemazione ottimale prevede dunque:

- Interasse ganci tripli disposti più all'esterno (3+3) pari a 22,5 m circa;
- Interasse ganci doppi disposti più all'interno (2+2) pari a 10/15 m circa.

#### 4.4.5 Sistema di ormeggio – Soluzione n°2

Il sistema di ormeggio scelto nel progetto, prevede l'utilizzo in banchina dei seguenti arredi esistenti (come mostrato negli schemi seguenti):

- 8 bitte da 100 t circa;
- 12 fender.

Gli schemi di ormeggio per ogni nave, si illustrano nella figure seguenti:

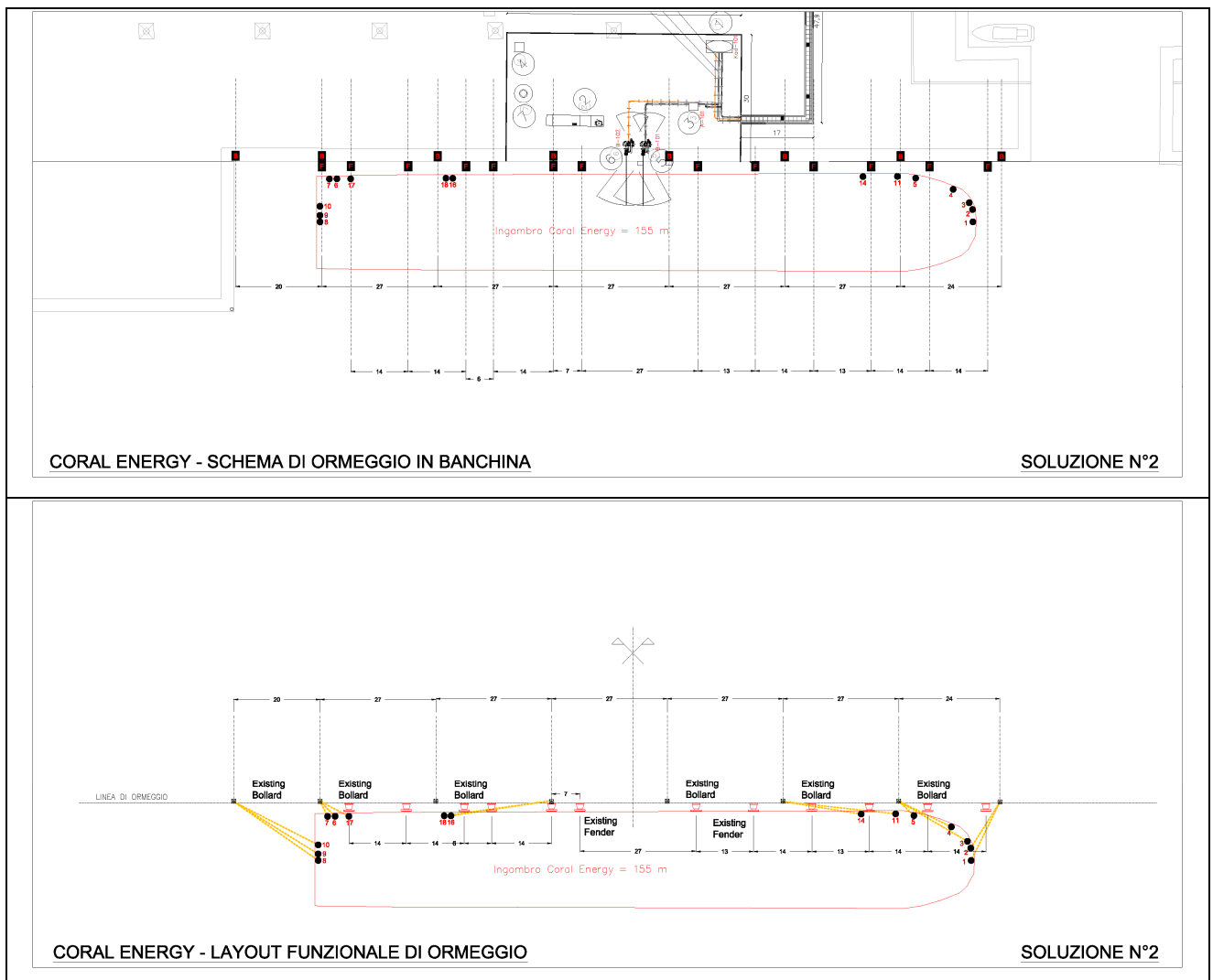


Figura 26: Schemi di ormeggio Coral Energy – Soluzione n°2

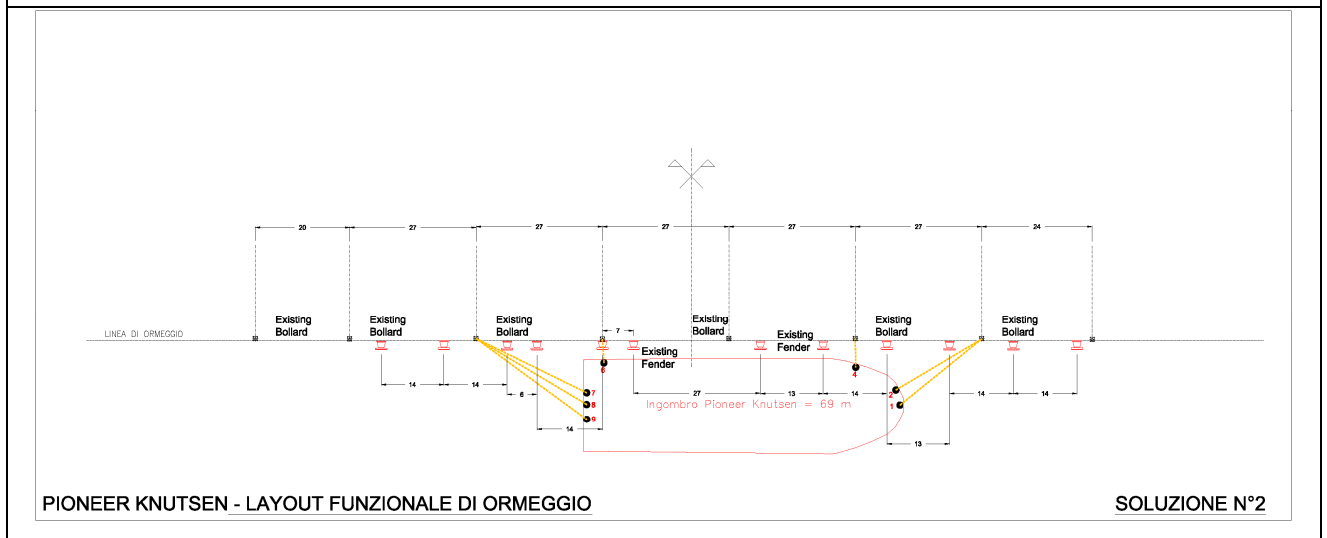
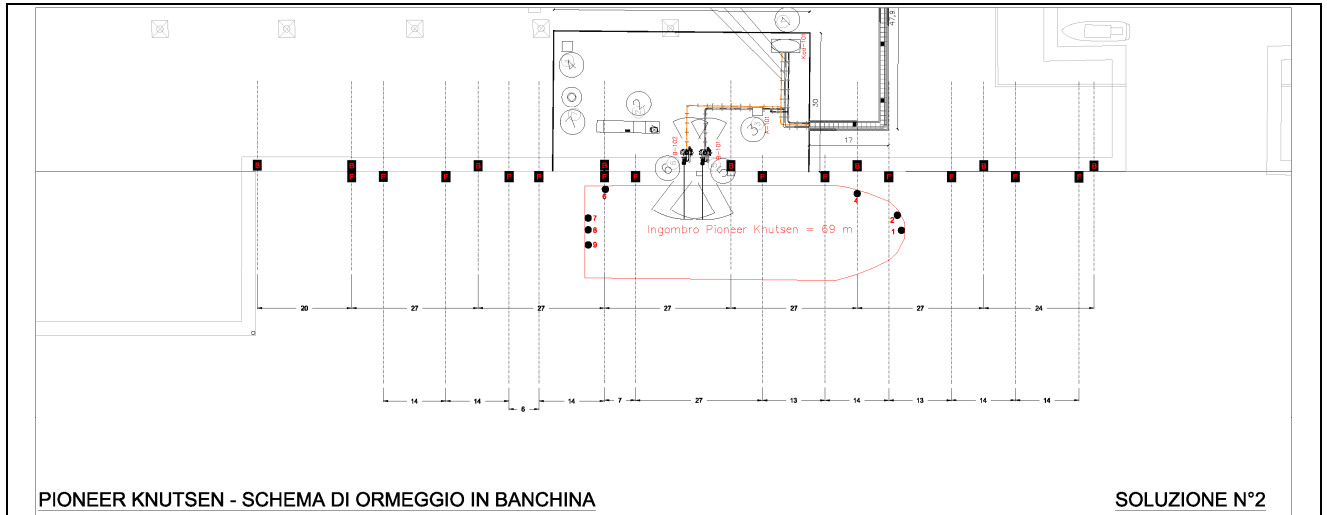


Figura 27: Schemi di ormeggio Pioner Knutsen – Soluzione n°2

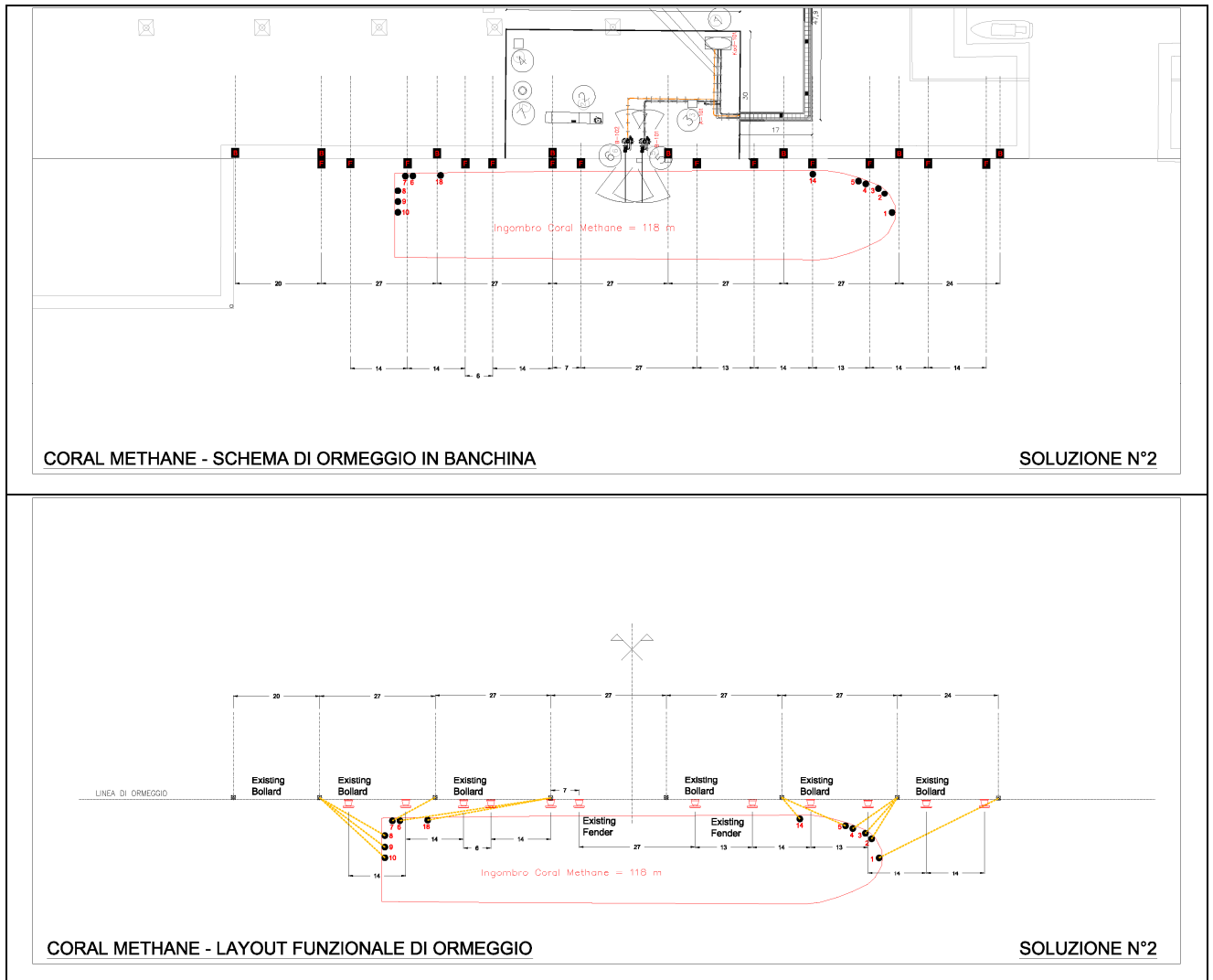


Figura 28: Schemi di ormeggio Coral Methane – Soluzione n°2

La soluzione n°2 (soluzione prescelta), prevede quanto segue (vedi anche indicazioni di figura 9):

- Bitte esistenti portata 100 t;
- Fender esistenti con pannelli frontali di dimensioni 1 m x 0,5 m.

Ambedue gli arredi di banchina sono verificati (come illustrato nei paragrafi 4.4.2 e 4.4.3).

#### 4.4.6 Ormezzi delle navi

I valori limite di tensione raccomandati dall'OCIMF, in riferimento alle diverse tipologie dei cavi d'ormeggio in dotazione alle navi, in riferimento allo stato tensionale delle linee di ormeggio sono riassunti di seguito per ogni materiale:

- Acciaio: Tensione limite 55% del carico minimo di rottura della cima (MBL);
- Polietilene: Tensione limite 50% del carico minimo di rottura della cima (MBL);
- Poliamide: Tensione limite 45% del carico minimo di rottura della cima (MBL).

L'inclinazione orizzontale e verticale delle cime d'ormeggio, secondo le raccomandazioni contenute nei diversi regolamenti e linee guida (British Standard Code of Practice for Maritime Structures (BS 6349:Part4:1994), ROM 0.2-90 e PIANC) si riassume di seguito:

- Cime di prua e di poppa:  $45^{\circ} \pm 15^{\circ}$ ;
- Traversi di prua e di poppa:  $90^{\circ} \pm 30^{\circ}$ ;
- Springs:  $5^{\circ}/10^{\circ}$ .

La figura seguente mostra lo schema indicativo degli ormeggi consigliato da OCIMF:

	<b>Numero di Linee</b>	<b>Tipo</b>
<b>Cavi alla lunga prodieri / traversini prodieri</b>	6	Acciaio o sintetici
<b>Spring prodieri</b>	2	
<b>Spring poppieri</b>	4	
<b>Cavi alla lunga poppieri / traversini poppieri</b>	4	
<b>Tutti i cavi sui verricelli</b>		Yes
Fonte: Mooring arrangement meets OCIMF Publication: Mooring Equipment Guidelines Edition 3/2008		

Figura 29: Schema di ormeggio

Le linee di ormeggio individuate nella presente relazione in base alle caratteristiche (n° linee, MBL, materiale,....) ed in relazione alle infrastrutture delle navi (passacavi e panama installati), si illustrano di seguito:





Pioneer Knutsen (bettolina):

- 2 cavi alla lunga di prua;
- 1 spring di prua;
- 1 spring di poppa;
- 3 cavi alla lunga di poppa.

Coral Methane (mini LNG 7500 m3):


- 3 cavi alla lunga di prua;
- 2 traversini di prua;
- 1 spring di prua;
- 1 spring di poppa;
- 2 traversini di poppa;
- 3 cavi alla lunga di poppa.

Coral Energy (mini LNG 15000 m3):

- 2 cavi alla lunga di prua;
- 3 traversini di prua;
- 2 spring di prua;
- 2 spring di poppa;
- 3 traversini di poppa;
- 2 cavi alla lunga di poppa.

Ai fini di rispettare le indicazioni presenti sulle linee guida OCIMF, essendo tutte le linee di materiale sintetico, lo stress ammissibile in ciascuna linea deve essere pari al 50% del proprio MBL (Minimum Breaking Load - Carico di rottura minimo).

Si identificano in via preliminare le caratteristiche delle linee di ormeggio, ideali per l'ormeggio in esame. Si tratta di linee di ormeggio ad alta resistenza (tipo Dynamax HMPE 12) con spezzone in Nylon da 11m (lunghezza minima suggerita da OCIMF). Inoltre, si sottolinea l'opportunità che i freni dei verricelli abbiano una tenuta pari all'80% del MBL delle linee di ormeggio. Le caratteristiche delle linee di ormeggio ipotizzate sono indicate in figura:



**12- STRAND**  
Twelve strand braided rope, made from DYNEEMA™ HMPE grade SK 75, has the highest strength to weight ratio in the current range of braided ropes.

- Light weight – floats
- High strength – similar, size for size, to wire rope
- Torque balanced 12 strand braided construction
- Abrasion resistant polyurethane coating

Dia. mm	Weight kg/100m	MBL* Tonnes
6	2,3	4
8	3,9	6
10	5,8	9
12	8,3	13
14	11,3	18
16	14,7	23
18	18,6	26
20	23,0	29
22	27,8	44
24	33,2	52
26	39,0	61
28	45,2	71
30	51,9	81
32	59,0	92
34	63,9	100
36	71,4	112
38	79,9	125
40	88,2	138
44	106,7	153
48	126,5	167

**FACTS**

Melting point	135°C
Spec. Gravity	0,97
Water absorption	0%
Reduction of MBL when wet	0%
Bending Ratio, Dynamic ISO 3730	9:1
Elongation, new rope	5%
Elongation, broken-in ropes (15-20 operations)	3%
On request, larger diameter, different color, 12 strand	

In base alle tabelle delle dotazioni delle navi, alla tipologia delle bitte, si identificano linee di ormeggio ideali per l'attracco aventi diametro pari a 28 mm (MBL 71 t).

Figura 30: Linee di ormeggio

#### 4.5 Effetti dell'elica sul fondale

La pratica costruttiva delle navi metaniere produce tipologie di navi, nelle quali l'elica presenta dimensioni sempre inferiori a quelle della parte immersa della metaniera. Sulla base di tale assunzione dunque, si può affermare che:

- l'estremità delle pale non superi mai la quota inferiore del fasciame del fondo (chiglia) in modo che anche in caso di situazioni di emergenza (tipicamente incaglio), l'elica non rischi di subire danni. Tale condizione è anche avvalorata dal



fatto che per l'approdo in progetto è stata considerato un franco sottochiglia adeguato;

- in caso di nave in minima immersione (condizione di zavorra) l'estremità delle pale non fuoriesce dal pelo libero dell'acqua, in modo tale da consentire anche in questa condizione un corretto rendimento dell'elica, garantendo adeguate performace di spinta e manovrabilità alla nave.

In considerazione delle limitate velocità con cui la nave gasiera accederà al Porto, non si segnalano evidenze in merito agli eventuali effetti dell'elica sul fondale, in quanto l'azione dell'elica delle navi gasiere risulta infatti normalmente inferiore a quella delle attuali navi in transito da/verso il Porto Canale di Cagliari.

#### **4.6 *Analisi dell'operatività media annua della banchina***

##### **4.6.1 Premessa**

Le condizioni di operatività di una banchina portuale dipendono dai movimenti subiti dalla nave all'ormeggio che dipendono da:

- altezza d'onda significativa massima accettabile (e relativo periodo d'onda);
- operazioni in banchina;
- dislocamento della nave.

Pertanto il calcolo dell'operatività media annuale delle banchine portuali può essere ricondotto al calcolo dell'agitazione ondosa presente mediamente lungo le banchine ed al relativo confronto con le condizioni limite di operatività.

Si indicano di seguito i limiti operativi di riferimento per l'operatività in banchina delle navi LNG:

Tipologia di operazione in banchina delle navi LNG	Altezza d'onda significativa [m]	
	Dir. Traversale (Sway)	Dir. Longitudinale (Surge)
Ormeggio	1-1,2	1,2-1,5
Carico/Scarico	1,0-1,5	1,5-2,2
Disconnessione linee	1,2-1,8	1,5-2,0
Imbarco pilota dai rimorchiatori	2,0 – 2,5	2,0 – 2,5

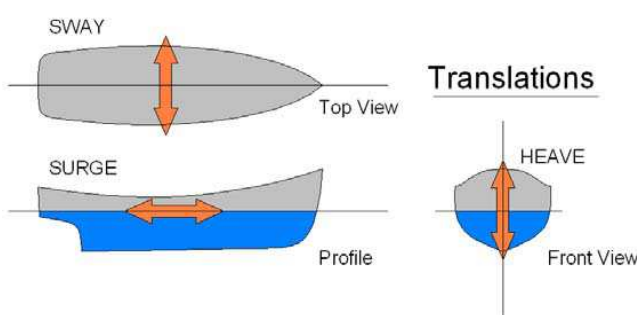
  


Figura 31: Limiti di operatività

La valutazione dell'analisi dell'operatività media annua della banchina in oggetto, viene effettuata in riferimento ai seguenti scenari:

- Scenario n°1: valutazione della frequenza di accadimento dell'altezza d'onda a largo che genera un'agitazione ondosa pari alla condizione limite per le operazioni associate al terminale LNG.;
- Scenario n°2: valutazione della frequenza di accadimento dell'altezza d'onda generata dalle navi in transito lungo il canale.

La prima valutazione viene eseguita attraverso la formazione di un modello numerico tridimensionale, in grado di valutare l'agitazione interna portuale dovuta ad una forzante di moto ondoso applicata sull'imboccatura. Dal calcolo, si deduce che l'operatività media della banchina è limitata principalmente dal moto ondoso, che risulta critico in relazione ad eventi caratterizzati da tempi di ritorno dell'ordine di 2 anni.



La seconda valutazione fa riferimento alla Relazione n°1, relativa allo studio della navigabilità e manovrabilità portuale, ove è stato valutato il fenomeno del “Pashing Ship” generato dal passaggio di una nave Porta Container nel canale in oggetto. Dal calcolo si deduce che l’operatività media della banchina è limitata principalmente dal moto ondoso, che risulta critico in relazione al passaggio di navi aventi DWT superiori a 100.000 t circa. Per tali navi il traffico attuale prevede 20/25 passaggi al mese (andata e ritorno) per una durata di 20 minuti cadauno (comprensiva di tutte le operazioni da effettuarsi in banchina per il blocco delle operazioni).

Ambedue le valutazioni tengono conto delle riflessioni che il moto ondoso subisce nell’impatto contro la nave o la banchina.

#### 4.6.2 Scenario n°1

##### *Equazione Base*

L’equazione base adottata, mostrata di seguito, consente di calcolare l’agitazione interna portuale prodotta da una forzante esterna (corrispondente ad uno stato del mare incidente sull’imboccatura portuale). Per il calcolo dell’altezza d’onda significativa incidente sulla nave in ormeggio, si utilizza uno specifico modello che implementa la condizione di riflessione della parete verticale della nave o della banchina.

Il problema dell’individuazione della funzione potenziale di velocità, nelle Regioni interna ed esterna al bacino portuale del Porto Canale, si riconduce alla risoluzione della seguente equazione differenziale bidimensionale ed ellittica del 2° ordine:

$$\nabla(c \cdot c_g \cdot \nabla f) + \sigma^2 \cdot \left( \frac{c_g}{c} \right) \cdot f = F(f, \dots)$$

con la condizione al contorno  $f_n + A \cdot k \cdot f = 0$

Dove:

$c$  è la celerità d’onda;

$c_g$  è la celerità di gruppo;

$\sigma$  è la frequenza angolare

$f$  è la funzione d’onda, il cui modulo individua l’ampiezza del coefficiente di agitazione interna portuale;

$F(f, \dots)$  tiene conto delle non linearità.



L'equazione suddetta viene risolta adottando uno schema agli elementi finiti, applicato sul dominio chiuso di interesse, comprendente la Regione interna e la Regione esterna. Per inciso, la regione interna è la parte interna al bacino portuale e la regione esterna coincide con il mare aperto.

La soluzione dell'equazione è una funzione complessa, il cui modulo involve il coefficiente di agitazione interna portuale.

Le fasi di calcolo sono le seguenti:

- individuazione del contorno del bacino portuale, e discretizzazione in elementi finiti di lunghezza pari a circa  $1/5-1/6$  della lunghezza d'onda e comunque inferiore a 5 m. La lunghezza dei lati dei triangoli quasi-equilateri che compongono le maglie degli elementi finiti, risulta direttamente influenzata dall'errore di chiusura numerica dell'equazione base e dunque è variabile nei vari settori dello specchio acqueo;
- definizione delle condizioni al contorno su ogni elemento.
- Se il contorno è totalmente riflettente  $\rightarrow f_{,n} = 0$ .
- Se il contorno è totalmente assorbente  $\rightarrow f_{,n} + i \cdot k = 0$ , ove  $k$  è il numero d'onda.
- Se il contorno è parzialmente riflettente e la fase della funzione d'onda è nulla  $\rightarrow f_{,n} + A \cdot i \cdot k = 0$ , ove  $k$  è il numero d'onda
- Costruzione della griglia triangolare di calcolo internamente al dominio chiuso.
- Discretizzazione dell'equazione differenziale.

Una volta determinata l'altezza d'onda significativa, incidente sulla banchina si utilizza il modello di Fenton, che prevede un moto ondoso di attacco la cui direzione forma un angolo  $\beta$  rispetto alla normale alla parete piana verticale:

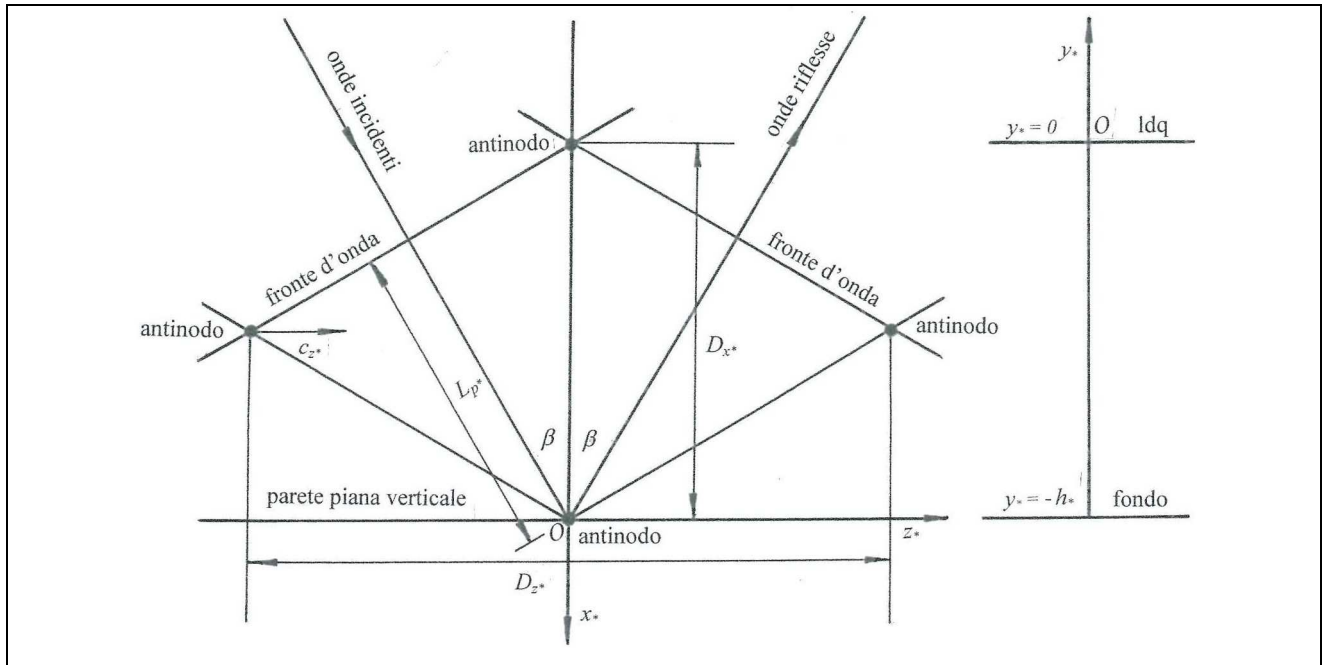


Figura 32: Modello di Fenton

La situazione, schematizzata nella figura sopra, corrisponde al caso in oggetto ove  $0^\circ < \beta < 90^\circ$ . Le onde progressive e le onde riflesse dalla parete danno luogo ad onde a cresta corta, di altezza  $H^*$ , che manifestano una superficie di ondulazione caratterizzata da una particolare configurazione a losanghe che presenta, nei vertici delle losanghe stesse, antinodi nei quali si localizzano le creste e i cavi esibiti dalla predetta superficie risultando  $H_p^* < H^* < 2H_p^*$ .

Le altezze  $H^*$  delle onde generate da un moto ondoso progressivo bidimensionale che interagisce, presentando un angolo  $\beta$  di attacco contenuto nel campo  $0^\circ \leq \beta \leq 90^\circ$ , con una parete piana verticale senza esercitare alcuna azione impulsiva (Takahashi, 2002), possono essere correlate alle altezze  $H_p^*$  delle onde significative appartenenti a tale moto attraverso la:

$$H_* = \zeta H_{p*}, \quad \text{con } \zeta = \sqrt{4 \cos^2 \beta + \sin^2 \beta},$$

#### Dominio di calcolo

S'illustra di seguito la planimetria generale del dominio di calcolo del bacino:



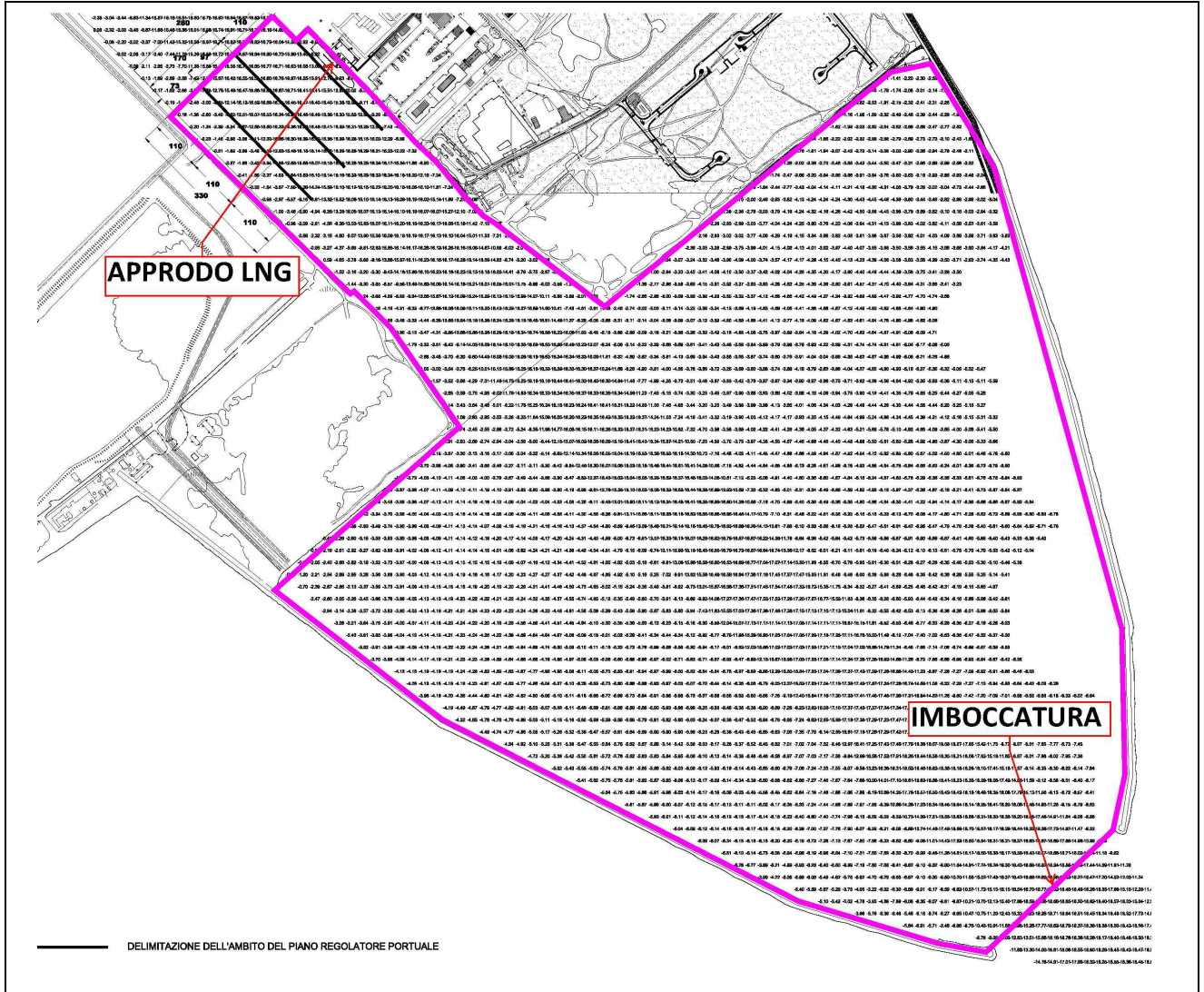
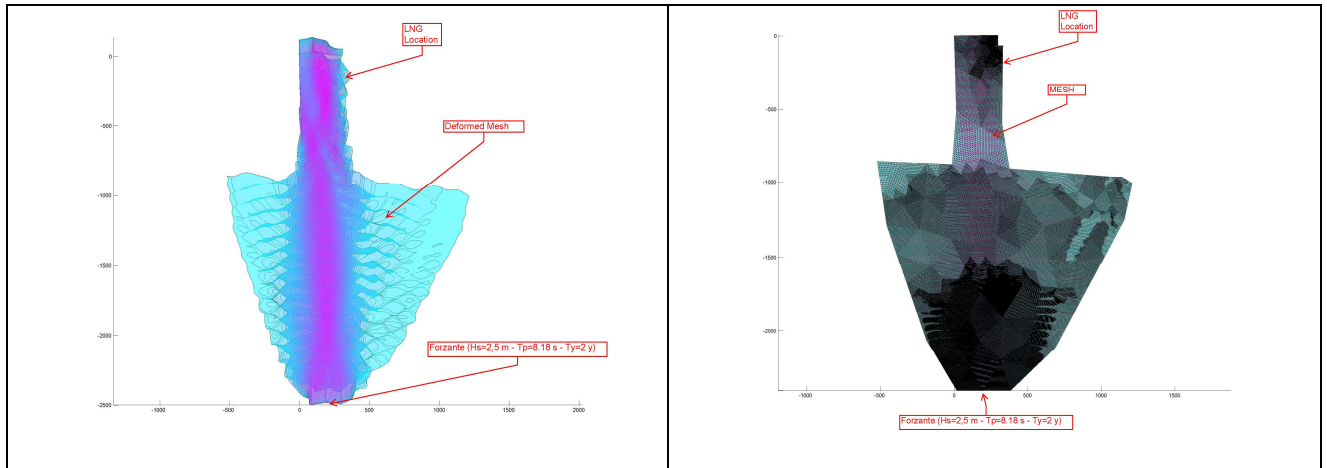


Figura 33: Discretizzazione dominio di calcolo – planimetria generale

S'illustra di seguito la Mesh del dominio di calcolo del bacino:



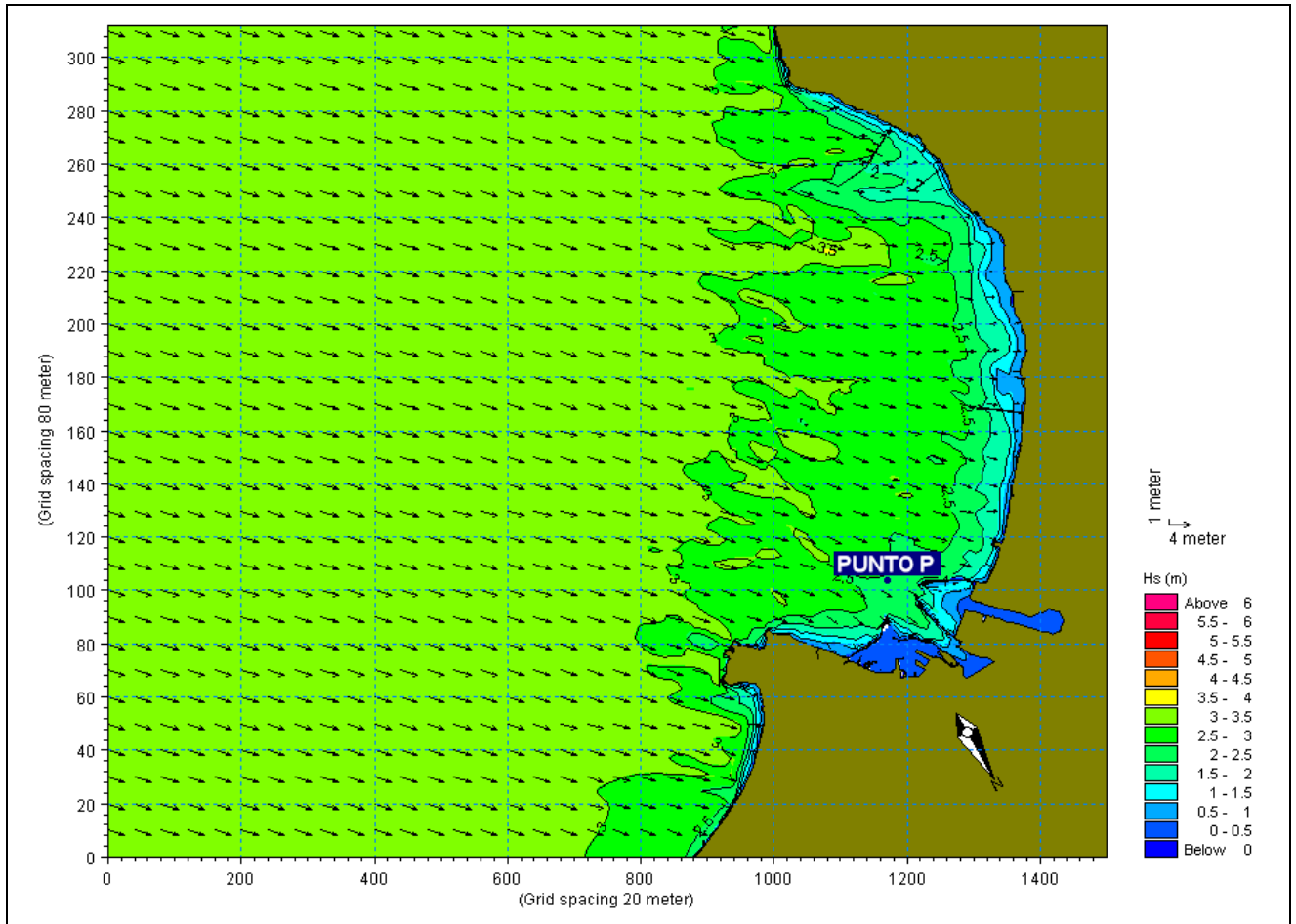


Il reticolo utilizzato è a maglie triangolari (triangoli quasi – equilateri). Per limitare l'errore numerico al di sotto della soglia del 3%, la densità dei triangoli aumenta di conseguenza in alcune zone portuali. Il contorno è stato discretizzato agli elementi finiti, destinando per le banchine verticali la condizione di totale riflessione e per gli spazi acquei contigui al contorno del modello (p.es. parte restante del canale) la condizione di totale assorbimento.

Figura 34: Discretizzazione dominio di calcolo – mesh di calcolo

### *Forzante del modello*

Come individuato nella relazione allegata al P.R.G. l'altezza d'onda significativa in corrispondenza dell'imboccatura portuale, corrispondente ad un periodo di ritorno pari a 2 anni è pari a circa 2,5 m (periodo d'onda pari a 8.18 s) e corrisponde ad un attacco frontale sull'imboccatura stessa:



Tale condizione corrisponde ad uno stato di mare avente direzione media a largo pari a 138°N. Si sottolinea che la condizione meteo marina che produce un'altezza d'onda all'imboccatura pari a 2,5 m di fatto è già insostenibile per l'entrata in porto, ma viene utilizzata in questa sede ai soli fini del calcolo del limite dell'operatività della banchina.

Figura 35: Forzante del modello

### *Determinazione dell'agitazione ondosa in corrispondenza della banchina in progetto*

Utilizzando la modellazione indicata nei paragrafi precedenti, viene simulata l'altezza d'onda significativa incidente sulla banchina:

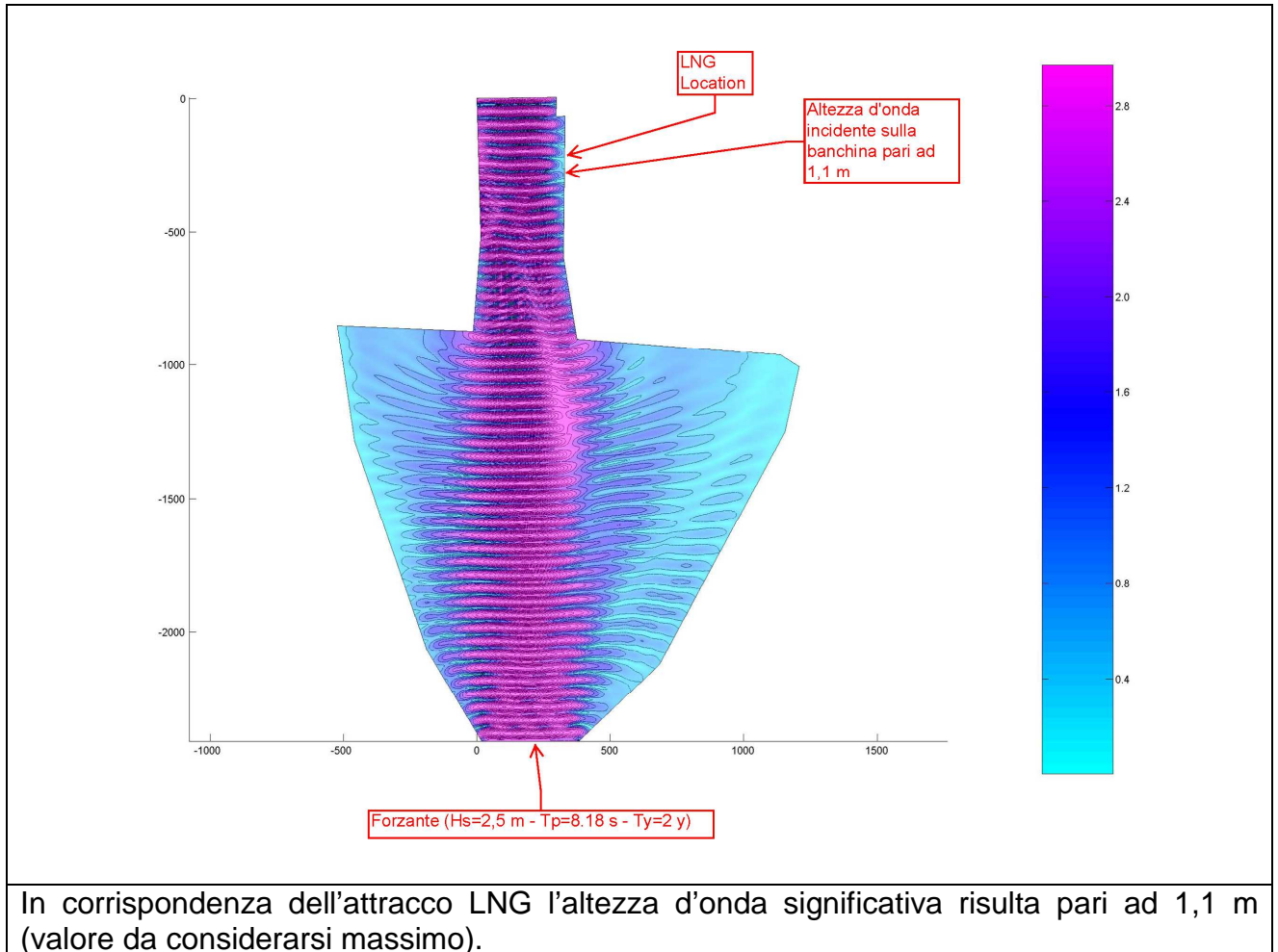


Figura 36: Agitazione ondosa – valori altezza d'onda

La figura seguente mostra le direzioni di incidenza dell'altezza d'onda significativa sulla banchina:

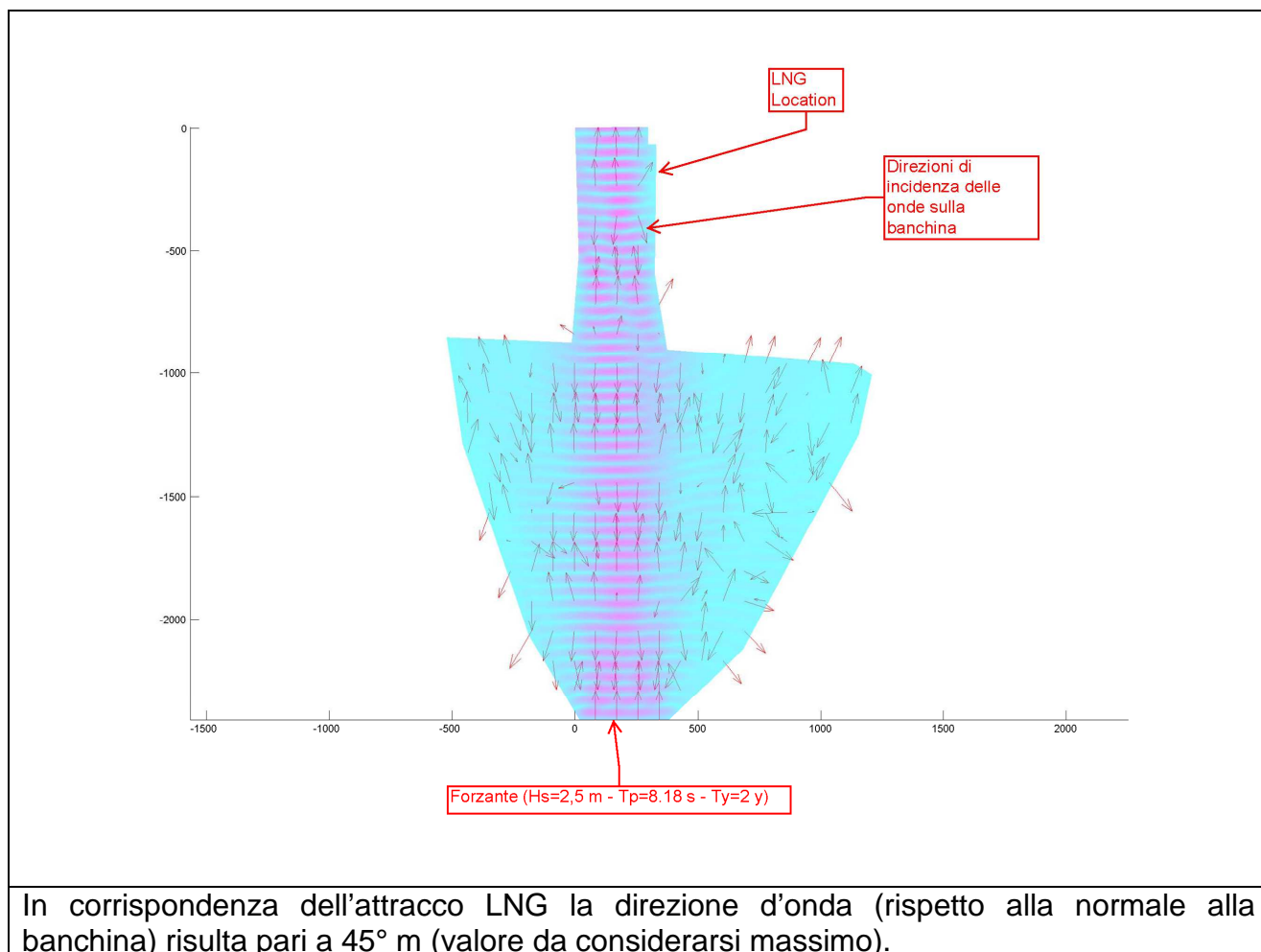


Figura 37: Agitazione ondosa – direzione di incidenza

*Determinazione dell'altezza d'onda progressiva incidente sulla banchina o sulla nave LNG ormeggiata in banchina*

Utilizzando le relazioni indicate, si ottiene che l'altezza d'onda progressiva incidente sulla parete verticale o sullo scafo della nave, risulta pari ad 1,5 m.

Tale altezza d'onda progressiva, prodotta dalle condizioni meteo marine incidenti sull'imboccatura portuale, coincide con limiti operativi massimi della banchina stessa secondo le indicazioni illustrate nella tabella seguente:

Tipologia di operazione in banchina delle navi LNG	Altezza d'onda significativa [m]	
	Dir. Traversale (Sway)	Dir. Longitudinale (Surge)
Ormeggio	1-1,2	1,2-1,5
Carico/Scarico	1,0-1,5	1,5-2,2
Disconnessione linee	1,2-1,8	1,5-2,0
Imbarco pilota dai rimorchiatori	2,0 – 2,5	2,0 – 2,5

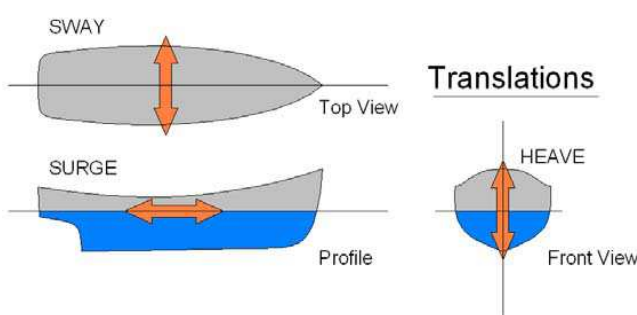
  


Figura 38: Limiti di operatività

In base a quanto suddetto, il periodo di inoperatività della banchina coincide dunque con il periodo di ritorno dell'onda significativa incidente sull'imboccatura ed è pari mediamente ad 1 volta ogni 2 anni.

#### 4.6.3 Scenario n°2

Come illustrato nella relazione n°1, relativa allo studio della navigabilità e manovrabilità portuale l'altezza d'onda generata dalla prua della nave in transito lungo il canale (nave tipo CMA-CGM-TOSCA) risulta pari ad 80 cm, secondo lo schema seguente:

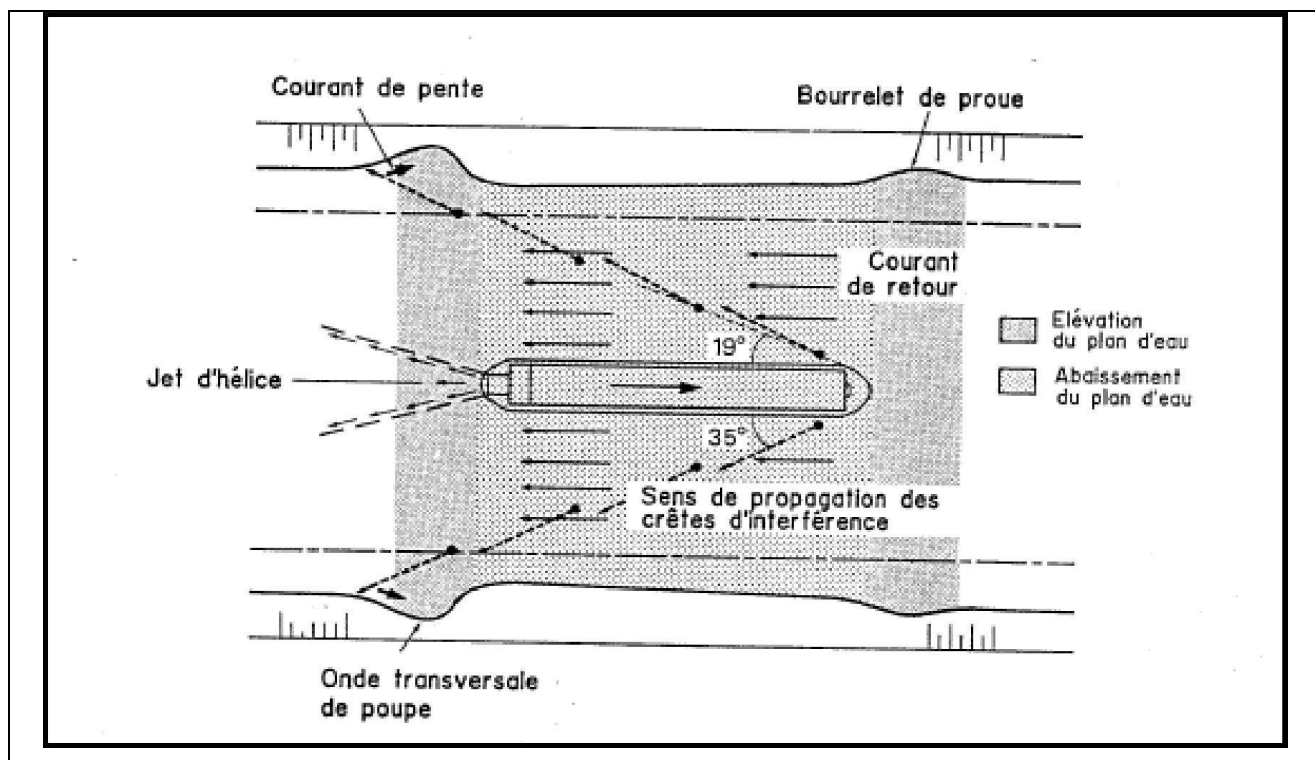


Figura 39: Agitazione ondosa prodotta da navi in transito – schema di riferimento

Utilizzando le relazioni indicate al paragrafo 4.6.0.1, si ottiene che l'altezza d'onda progressiva indicente sulla parete verticale o sullo scafo della nave, che risulta pari ad 1,2 m circa (ottenuta considerando gli effetti di riflessione dello scafo o della banchina). Come indicato al paragrafo precedente, anche tale agitazione ondosa è compresa nei limiti massimi di operatività della banchina.

Il traffico attuale prodotto da tali navi, prevede 20/25 passaggi al mese (andata e ritorno) per una durata di 20 minuti cadauno (comprensiva di tutte le operazioni da effettuarsi in banchina per il blocco delle operazioni). In tali situazioni, si può eventualmente considerare di sospendere le operazioni della banchina per circa 20 minuti e riprenderle dopo il passaggio della nave. Tale evenienza può essere concordata con l'Autorità Portuale senza peraltro influenzare particolarmente l'operatività della banchina, e programmando al meglio tutti gli stop di operatività con il piano operativo delle lavorazioni LNG in banchina.

## 5 CONCLUSIONI

Nella presente relazione si illustrano le condizioni di accesso alla banchina e le caratteristiche dell'ormeggio in banchina.

Le condizioni di accesso identificate nei paragrafi precedenti illustrano le seguenti operazioni e localizzazioni che debbono essere concordati con le Autorità Portuali:

- Area di Ancoraggio
- Servizio di Pilotaggio
- Servizio di Rimorchio
- Comunicazioni
- Limiti Operativi Meteorologici
- Manovra di partenza e di arrivo
- Manovra di ormeggio
- Manovra di disormeggio

Gli studi relativi ai dimensionamenti dell'ormeggio in banchina hanno evidenziato che:

Il pescaggio massimo delle navi all'ormeggio in banchina che è stato determinato in base alle specifiche caratteristiche del fondale (profondità minima 8,54 m). Sulla base degli studi effettuati (per navi cariche di metano) le navi di progetto possono accedere in sicurezza alla banchina con le seguenti percentuali di carico rispetto alla massima capienza (che determina il massimo pescaggio delle navi pari a 7,16 m):

- Coral Methan percentuale di carico pari a circa il 95%;
- Coral Energy percentuale di carico pari a circa l'83%;
- Pioneer Knutsn percentuale di carico al 100 %.

Gli arredi di ormeggio ed il sistema di ormeggio costituiti da:

- Bitte esistenti da 100 t;
- Fender esistenti (tipo cilindrico dimensioni 1,4 m x 1,0 m x 0,5 m)
- Linee di ormeggio.

Tipologia consigliata per le linee di ormeggio:

- Polietilene: Tensione limite 50% del carico minimo di rottura della cima (MBL).
- Tipo Dynamax HMPE 12 con spezzone in Nylon da 11m. Diametro 28 mmm – MBL 71 t;
- Tenuta dei freni dei verricelli: pari all'80% del MBL delle linee di ormeggio;
- Inclinazione: Cime di prua e di poppa:  $45^{\circ} \pm 15^{\circ}$ ;





- Inclinazione Traversi di prua e di poppa:  $90^{\circ} \pm 30^{\circ}$ ;
- Inclinazione Springs:  $5^{\circ}/10^{\circ}$ .

Dotazioni prese in considerazione:

Pioneer Knutsen (bettolina):

- 2 cavi alla lunga di prua;
- 1 spring di prua;
- 1 spring di poppa;
- 3 cavi alla lunga di poppa.

Coral Methane (mini LNG 7500 m3):

- 3 cavi alla lunga di prua;
- 2 traversini di prua;
- 1 spring di prua;
- 1 spring di poppa;
- 2 traversini di poppa;
- 3 cavi alla lunga di poppa.

Coral Energy (mini LNG 15000 m3):

- 2 cavi alla lunga di prua;
- 3 traversini di prua;
- 2 spring di prua;
- 2 spring di poppa;
- 3 traversini di poppa;
- 2 cavi alla lunga di poppa.

Le condizioni di operatività della banchina, sono positive sia per quanto riguarda le condizioni meteo marine (frequenza di accadimento media dell'inoperatività pari mediamente ad 1 volta ogni 2 anni) e sia per il passaggio delle navi in transito superiori a 100.000 t (tempo medio di inoperatività pari a 20 minuti per ogni passaggio – passaggi previsti 20/25 al mese).

Il professionista



*Giovanni Spissu*