



## TERMINAL GNL NEL PORTO CANALE DI CAGLIARI PROGETTO AUTORIZZATIVO

TERMINAL GNL NEL PORTO CANALE DI CAGLIARI  
PROGETTO AUTORIZZATIVO



### Progettazione

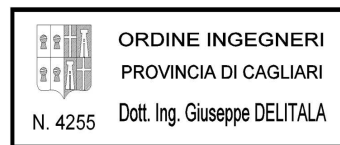
Società di ingegneria incaricata per la progettazione



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



### 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

### 7 - RAPPORTO PRELIMINARE DI SICUREZZA

NOME FILE

D\_07\_RI\_39\_SMN\_R02

FORMATO

CODICE ELAB.

D 07 RI 39 SMN R02

REV. C

A4

C

EMISSIONE A SEGUITO RICHIESTA INTEGRAZIONI DEL COMANDO PROVINCIALE DEI VIGILI DEL FUOCO DI CAGLIARI PROT.: dipvfvf.COM-CA.REGISTRO UFFICIALE.U.0020503.13-11-2017

Dicembre 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.....	16
4.4.3	Verifica dei Fender esistenti .....	19
4.4.4	Sistema di ormeggio – Soluzione n°1.....	24
4.4.5	Sistema di ormeggio – Soluzione n°2.....	29
4.4.6	Ormeggi delle navi .....	32
4.5	EFFETTI DELL'ELICA SUL FONDALE .....	34
4.6	ANALISI DELL'OPERATIVITÀ MEDIA ANNUA DELLA BANCHINA.....	35
4.6.1	Premessa.....	35
4.6.2	Scenario n°1 .....	37
4.6.3	Scenario n°2 .....	45
4.7	SCENARI AGGIUNTIVI RICHIESTI DALLA CAPITANERIA DI PORTO DI CAGLIARI .....	47
4.7.1	Urto in banchina della nave gasiera impegnata in operazioni di carico/scarico.....	47
4.7.2	Collisione della porta container con la nave gasiera impegnata in operazioni di carico scarico.....	48
4.7.3	Analisi storica.....	49
4.8	VALUTAZIONE DI POSSIBILI FENOMENI DI ESPLOSIONE E FIRE BALL.....	50
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>51</b>



## 1 PREMESSA

L'intervento in oggetto ha come obiettivo quello 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 a servizio 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, favorendo così l'attuazione delle 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 trans-europee 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 dei 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.



Lo 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.

La relazione, inizialmente consegnata (doc. D\_01\_ES\_14\_SMN\_R00) è stata qui' revisionata a seguito delle valutazioni e della richiesta di integrazione da parte della Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti – Capitaneria di Porto di Cagliari, M INF. CPCA. REGISTRO UFFICIALE U.0030106.21-07-2017 in cui si è richiesto l'approfondimento dei seguenti paragrafi:

- Par. 4.6.3 “scenario 2”;
- Valutazione degli effetti del passing-ship, dell'urto in banchina e o della collisione con una portacontainer della nave gasiera impegnata in operazioni di carico e scarico
- Valutazione di possibili fenomeni di esplosione e fire ball, con riferimento- oltre che al raggio di letalità elevato-anche a quelli di “inizio letalità” e “lesioni reversibili”.

I paragrafi della relazione oggetto di modifica, e i nuovi paragrafi inseriti sono stati evidenziati con righe verticali nere poste lateralmente al testo.

## 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:

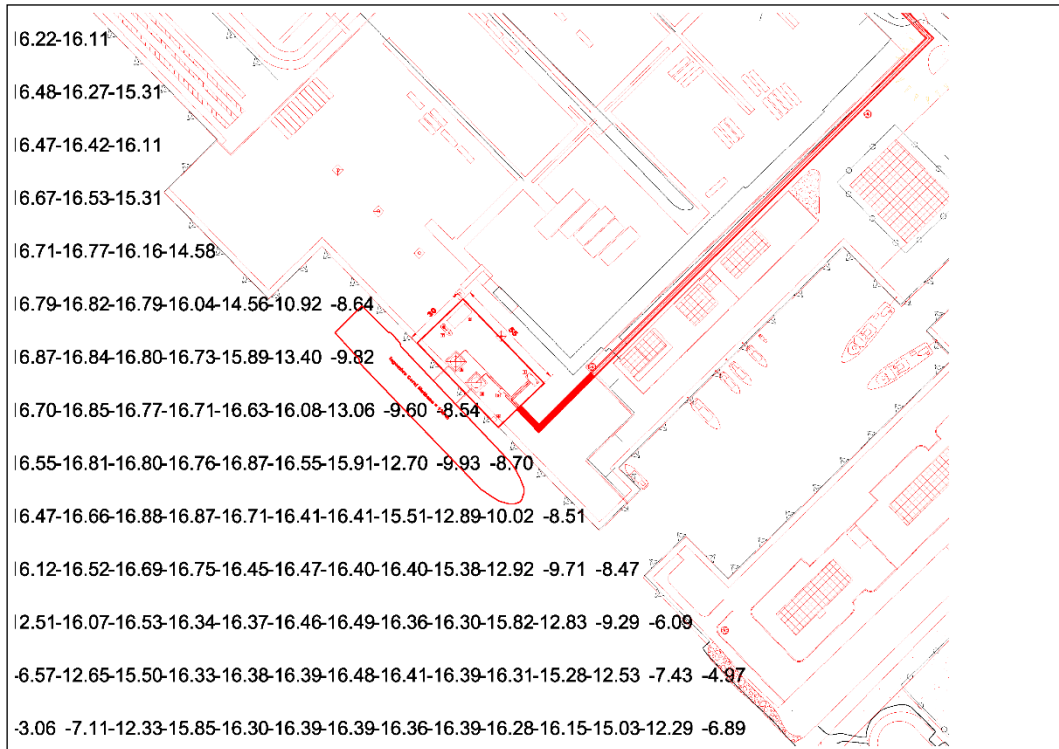


Figura 5: Coral Energy

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  $UKC_{netto}$ , “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:

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

dove:

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

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

$UKC_{netto}$ : franco netto sottochiglia

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

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

La somma del termine  $UKC_{netto}$  con il termine  $\Delta T_{ormeggio}$  viene detta “franco lordo sottochiglia”. Il fattore  $\Delta T_{ormeggio}$  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:

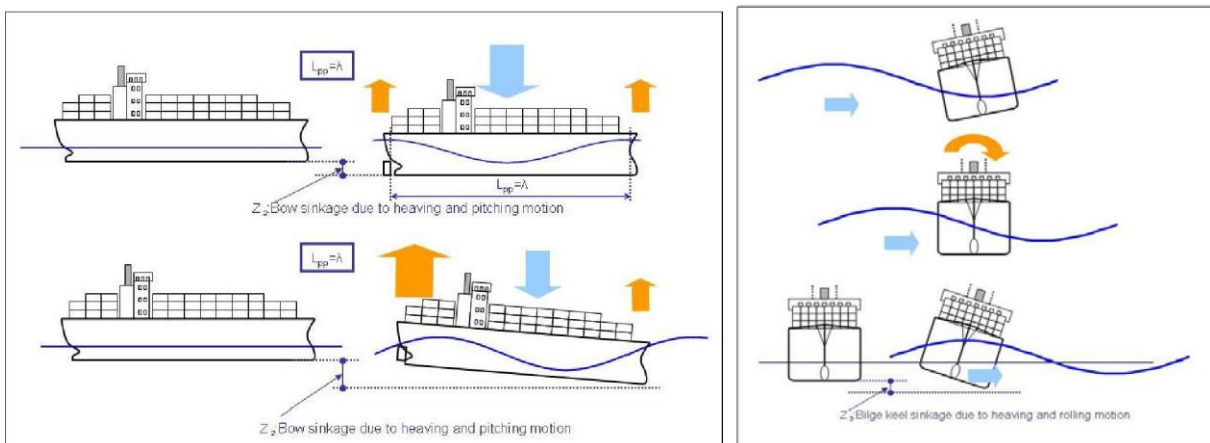


Figura 6: Movimenti della nave che influenzano il pescaggio

La somma del termine  $UK_{Cnetto}$  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:

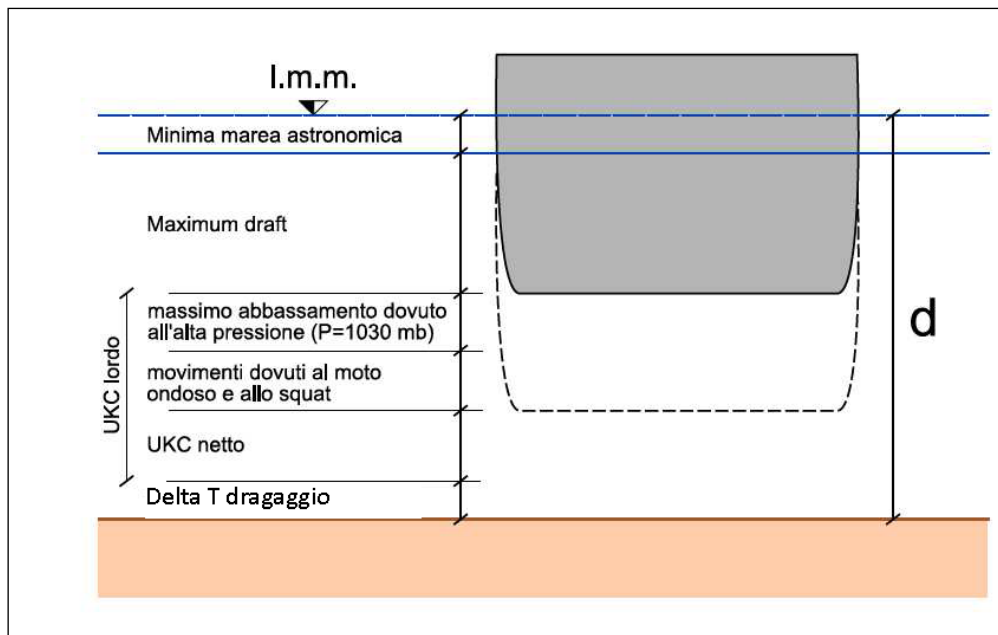


Figura 7: Calcolo del franco lordo sotto-chiglia

#### 4.3.2 Livello del mare

In base alle considerazioni esposte 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<sub>netto</sub> 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 (come confermato anche al paragrafo 4.6.3 della presente relazione, per valutazioni di Passing Ship di navi che transitano a velocità non superiore a 6 nodi).

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  $\Delta T_{\text{ormeggio}}=50$  cm (che tiene conto delle eventuali sesse). In tale fattore si includono anche le tolleranze di dragaggio ( $\Delta T_{\text{dragaggio}}$ ), 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 min	Draft 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: Pescaggio delle navi di riferimento

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

La soluzione prescelta è la soluzione n°1, che risulta funzionale all'ormeggio in progetto ed in termini di sicurezza risulta più vantaggiosa. In ambedue le soluzioni si adottano i fender esistenti.

L'utilizzo dei ganci a scocco è inoltre stato richiesto dal comando provinciale dei vigili del fuoco, coordinatore del gruppo di lavoro dell'UTR, con nota prot.0020503 del 13/11/2017 (PUNTO 19 – NOTA UTR).

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



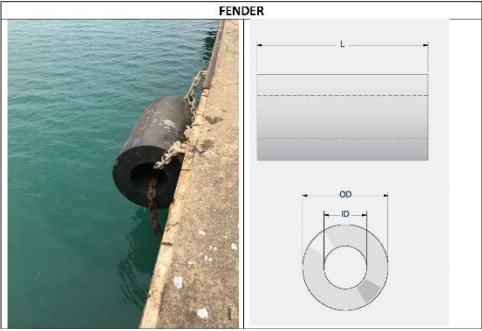
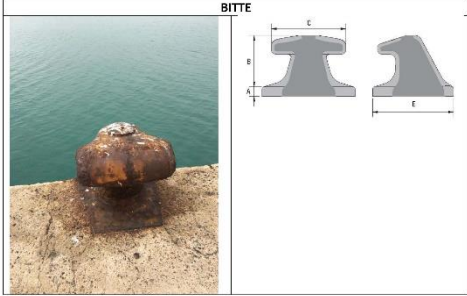
	
<p>Dimensioni rilevate: L=1,4 m; OD=1,0 m; ID=0,5 m; In base alle tabelle delle aziende produttrici, per tale tipologia di fender, l'energia massima di accosto risulta pari a 11 tm.</p>	<p>Dimensioni rilevate: B=0,5 m; C=0,6 m; E=0,6 m; In base alle tabelle delle aziende produttrici per tale tipologia 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).

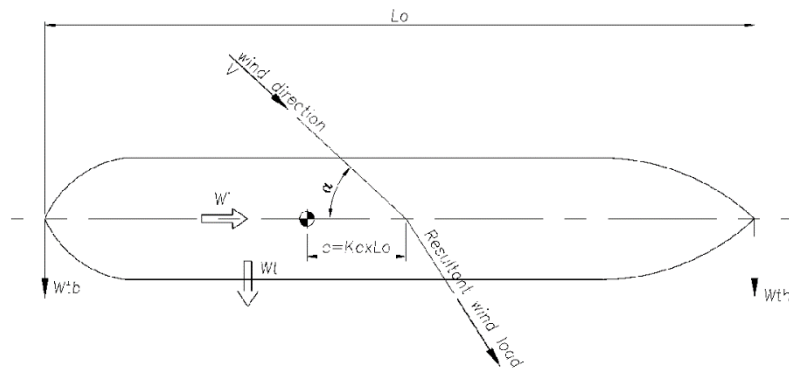
#### 4.4.2 Verifica delle Bitte esistenti e dimensionamento dei Ganci a scocco

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:

Le componenti di carico del vento (azione sulla nave all'ormeggio), si calcolano nel seguente modo:

$$W_t = (1+3.1 \sin \alpha) \cdot k_t \cdot H \cdot L_u \cdot v^2$$

$$W_t = (1+3.1 \sin \alpha) \cdot k_t \cdot H \cdot L_u \cdot v^2$$



I carichi equivalenti sulle bitte si ottengono dividendo il valore di  $W_t$  secondo le relazioni seguenti:

$$W_t = W_{tb} + W_{th}$$

dove:

$$W_{tb} = W_t \cdot (0.50 + k_e)$$

$$W_{th} = W_t \cdot (0.50 - k_e)$$

H: massima altezza del bordo libero della nave (a pieno carico o allibata), alla quale si deve sommare l'altezza aggiuntiva del carico dal bordo libero [m]

$L_u$ : Lunghezza massima della nave ormeggiata [m]

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	WI
[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:

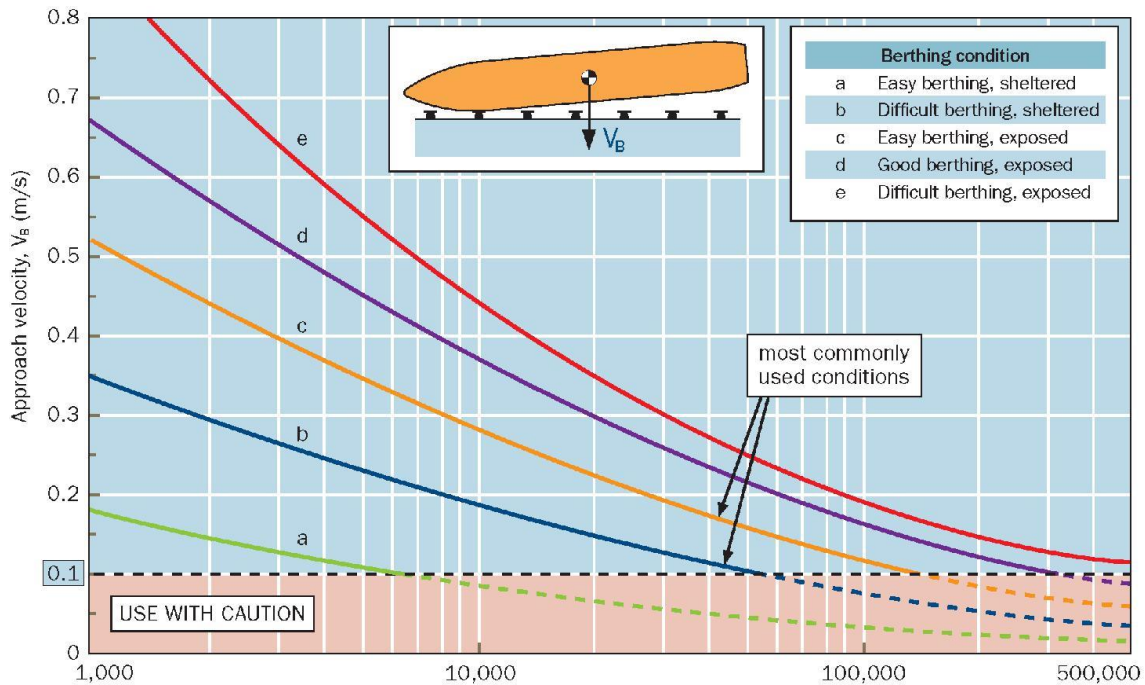


Figura 13: Calcolo velocità di accosto per ogni tipologia di nave

- CM (Virtual Mass Factor) é 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:

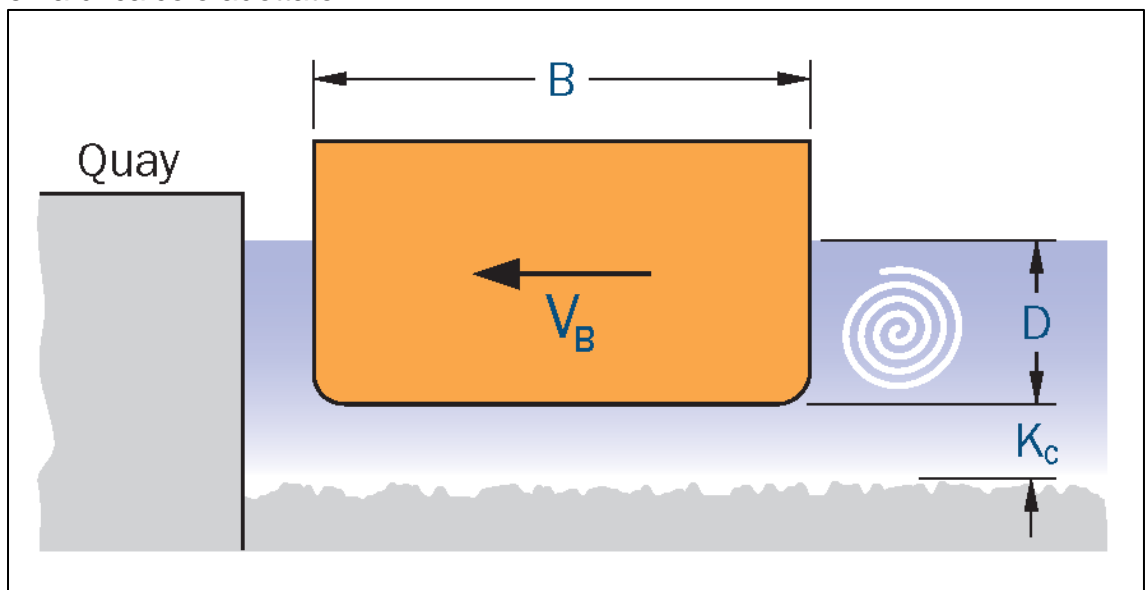


Figura 14: Calcolo del coefficiente di massa aggiunta

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 $V_B \geq 0.08m/s$ , $K_c \geq 0.1D$			

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:

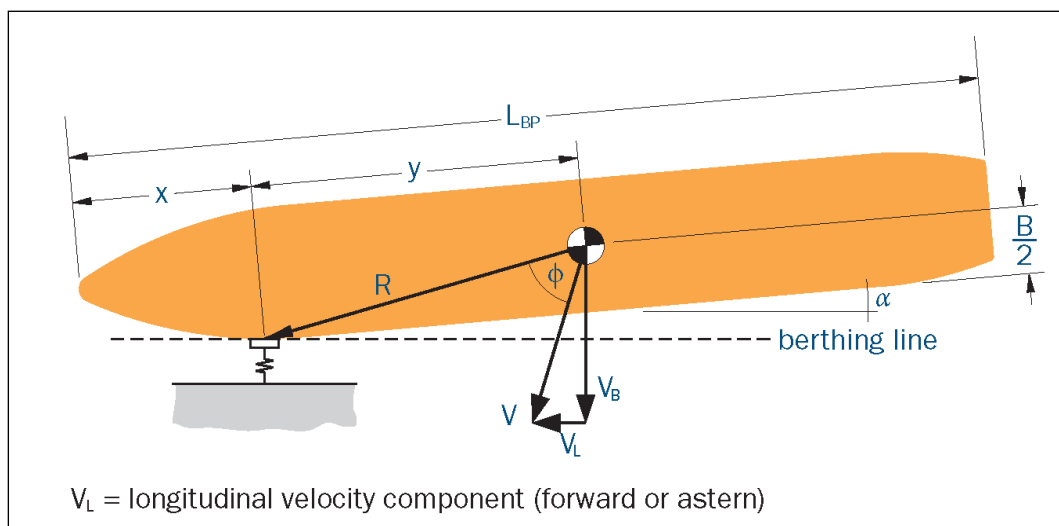


Figura 15: Calcolo del coefficiente di eccentricità

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
Tankers	0.85
Ferries	0.55-0.65
Ro-Ro vessels	0.7-0.8
Source: PIANC 2002; TABLE 4.2.2	

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 or 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:

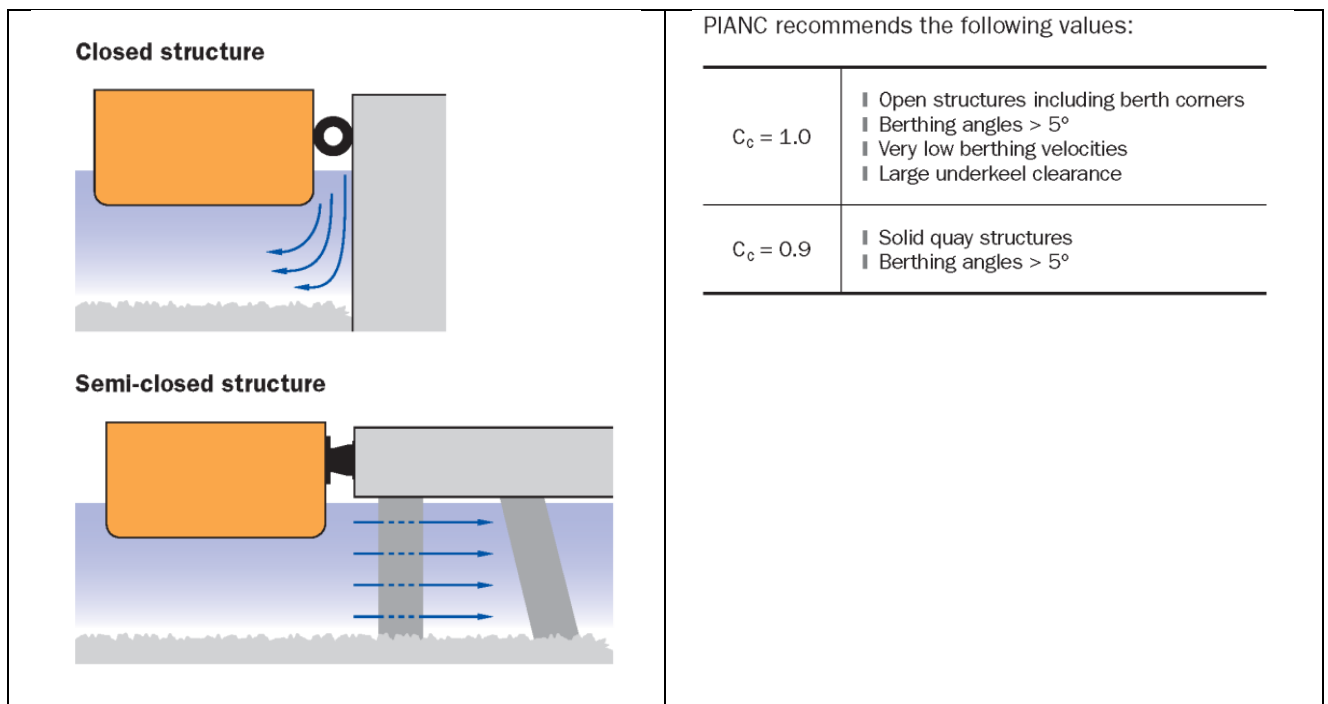


Figura 18: Calcolo del coefficiente di configurazione dell'attracco

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
[Knm]	[ ]	[Knm]
63.3	1.25	79

Loa	R	Fender Height	Fender Spacing	Fender Spacing	Fender Spacing
[m]	[m]	[m]	PIANC	BS	Thor
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:

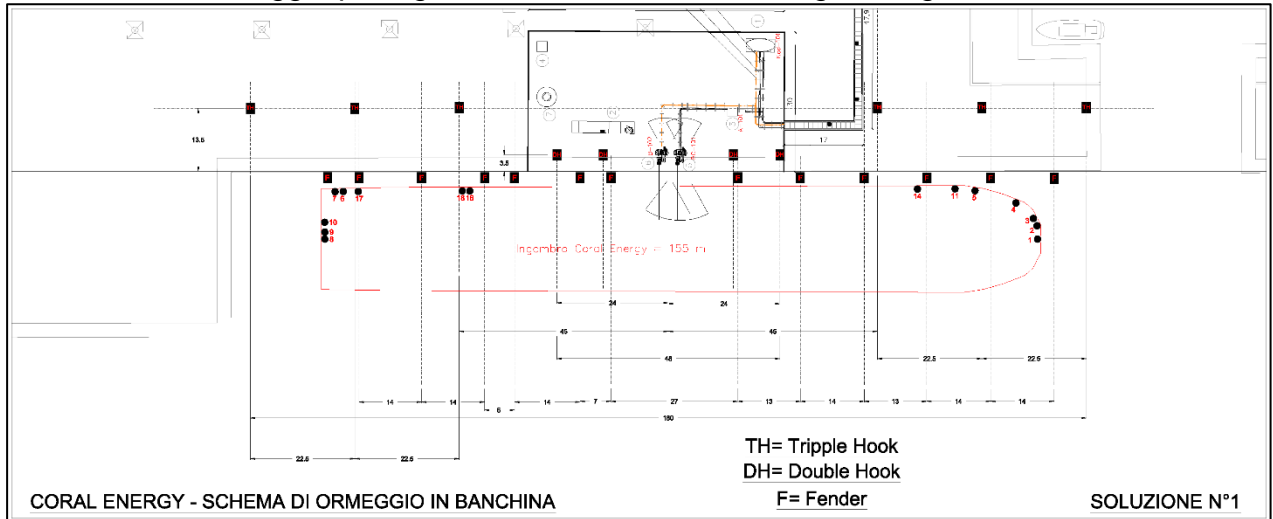


Figura 20: Schemi di ormeggio Coral Energy – Soluzione n°1

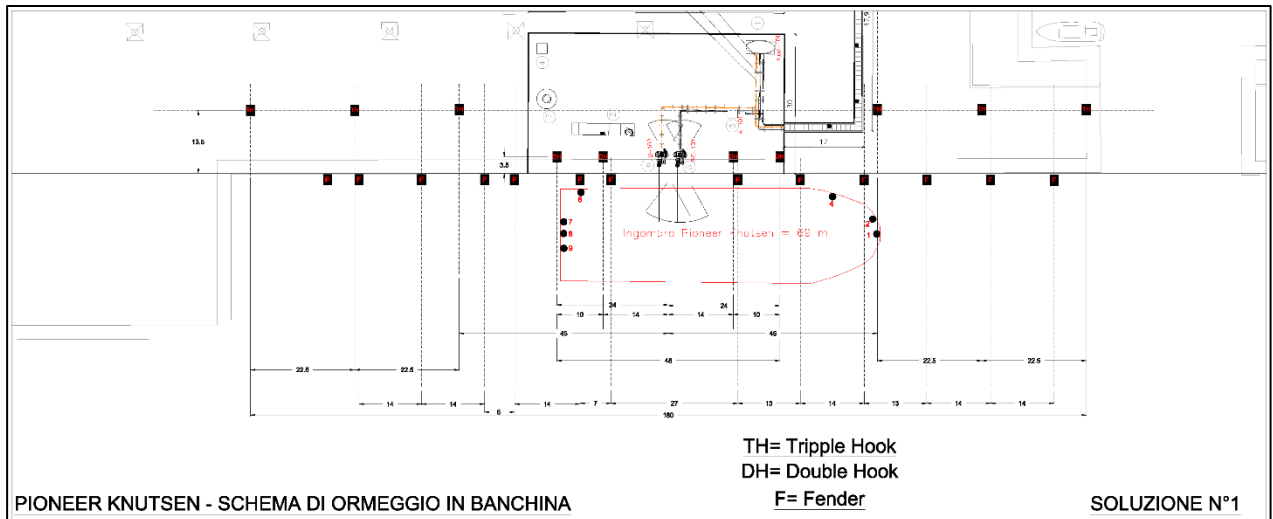


Figura 21: Schemi di ormeggio Pioner Knutsen – Soluzione n°1

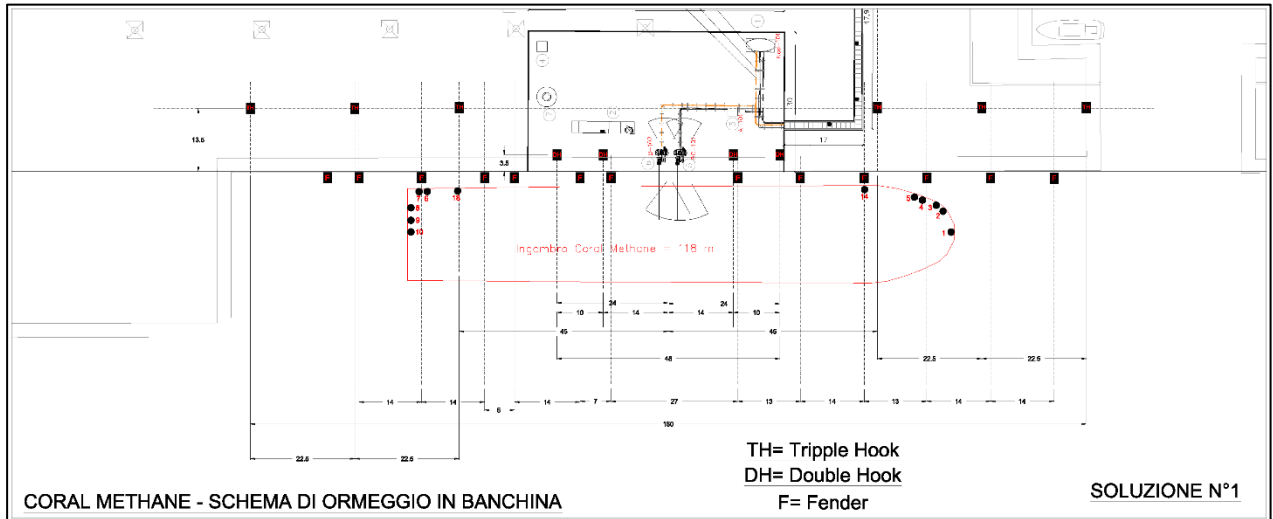


Figura 22: Schemi di ormeggio Coral Methane – Soluzione n°1

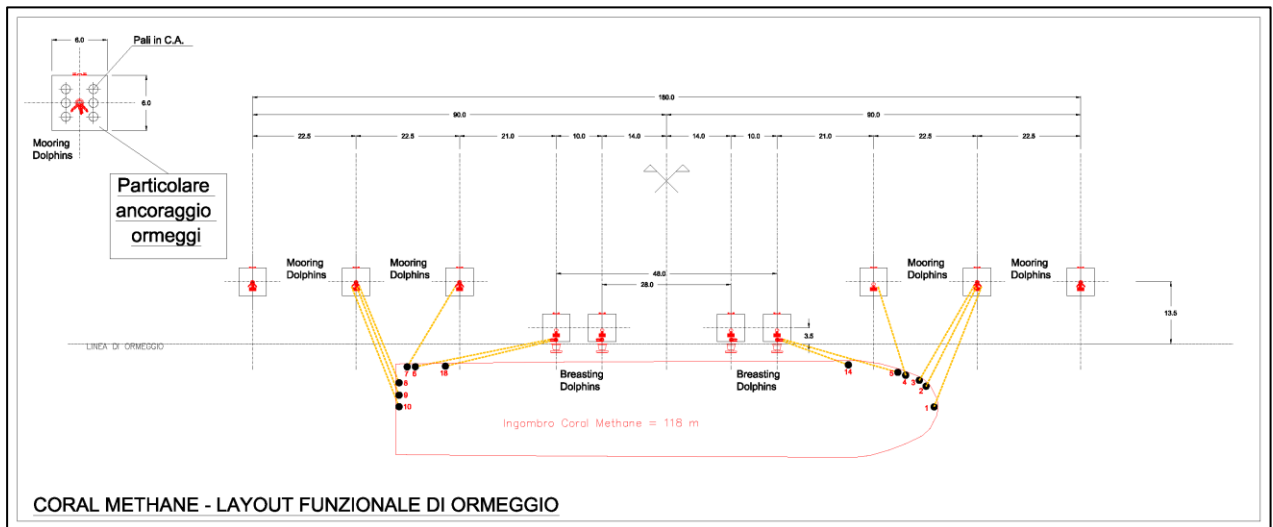
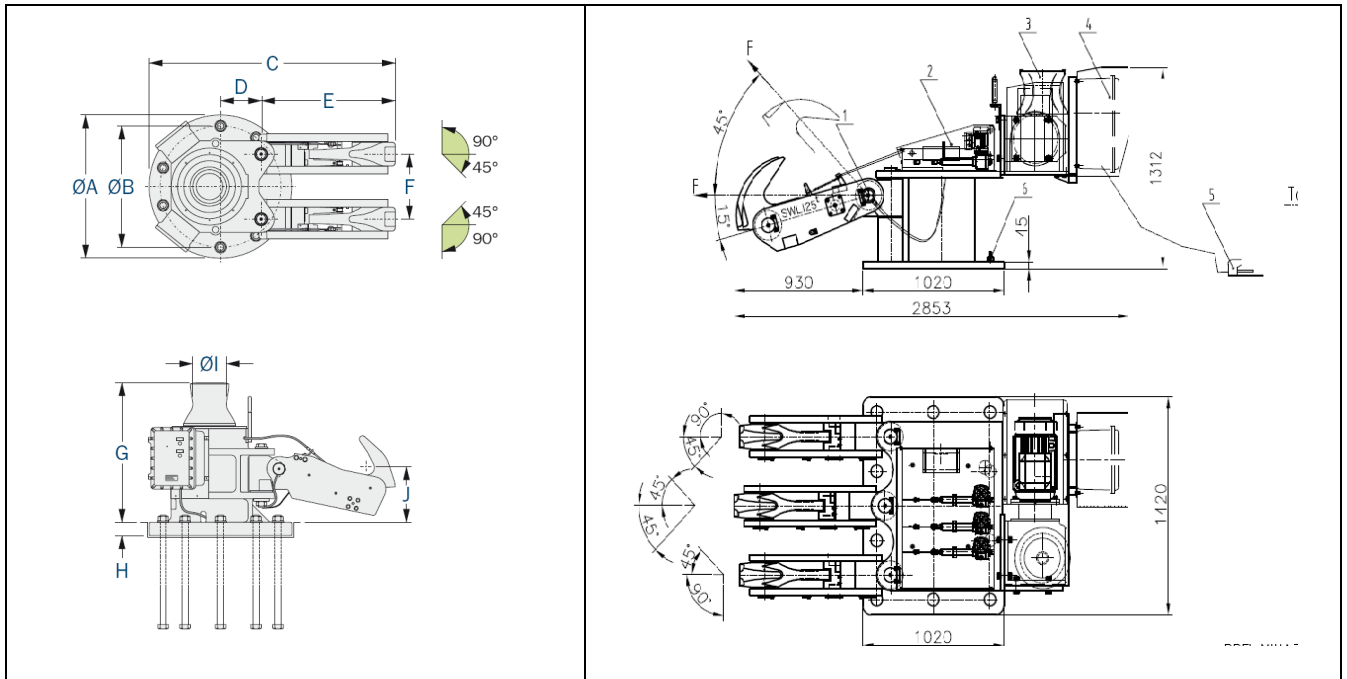


Figura 23: Layout funzionale di ormeggio Coral Methane – Soluzione n°1

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:

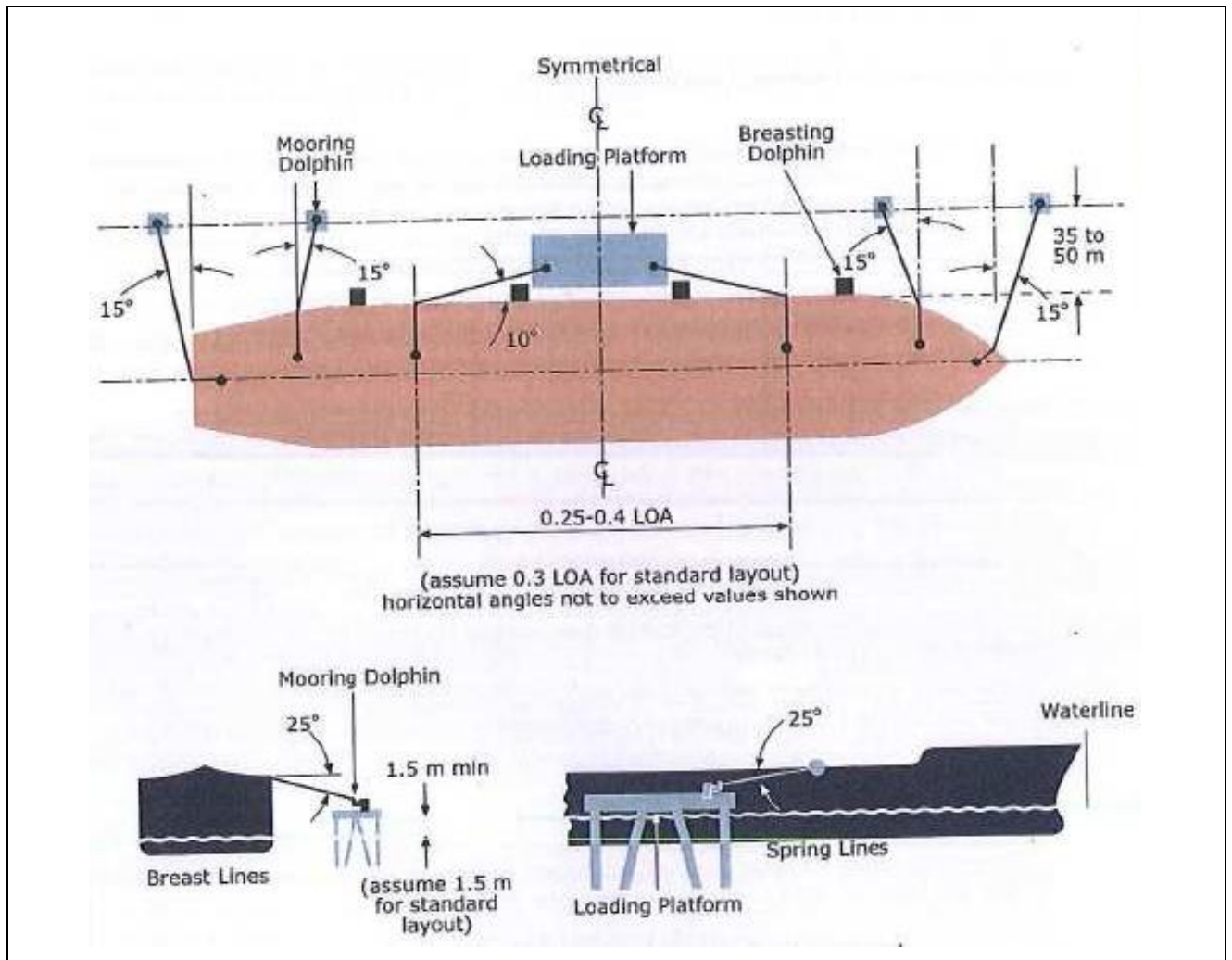


Figura 25: Layout ottimale sistema di ormeggio – Soluzione n°1

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:

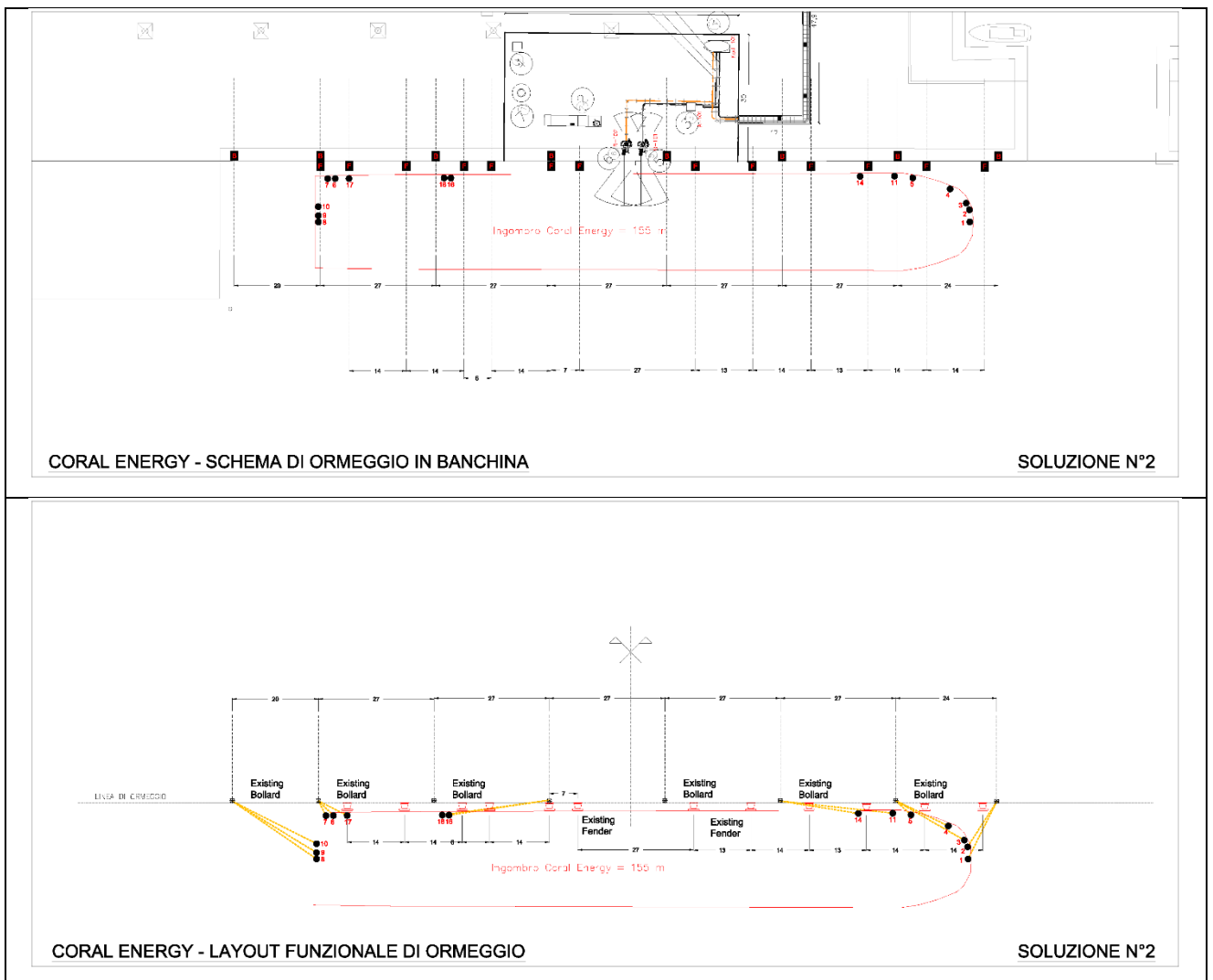


Figura 26: Schemi di ormeggio Coral Energy – Soluzione n°2

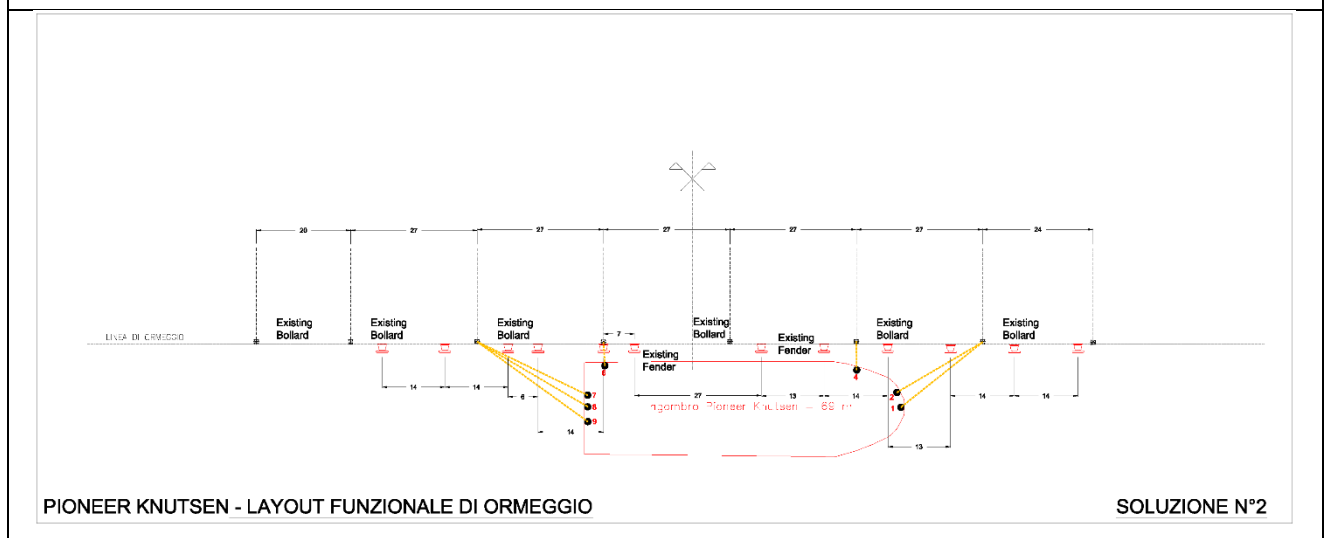
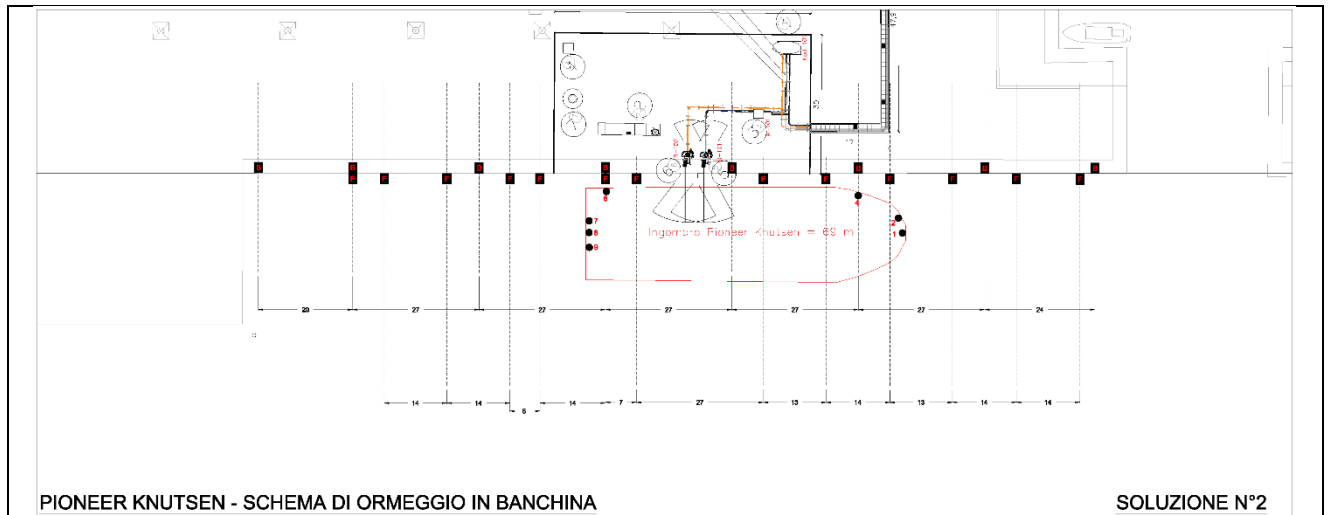


Figura 27: Schemi di ormeggio Pioner Knutsen – Soluzione n°2

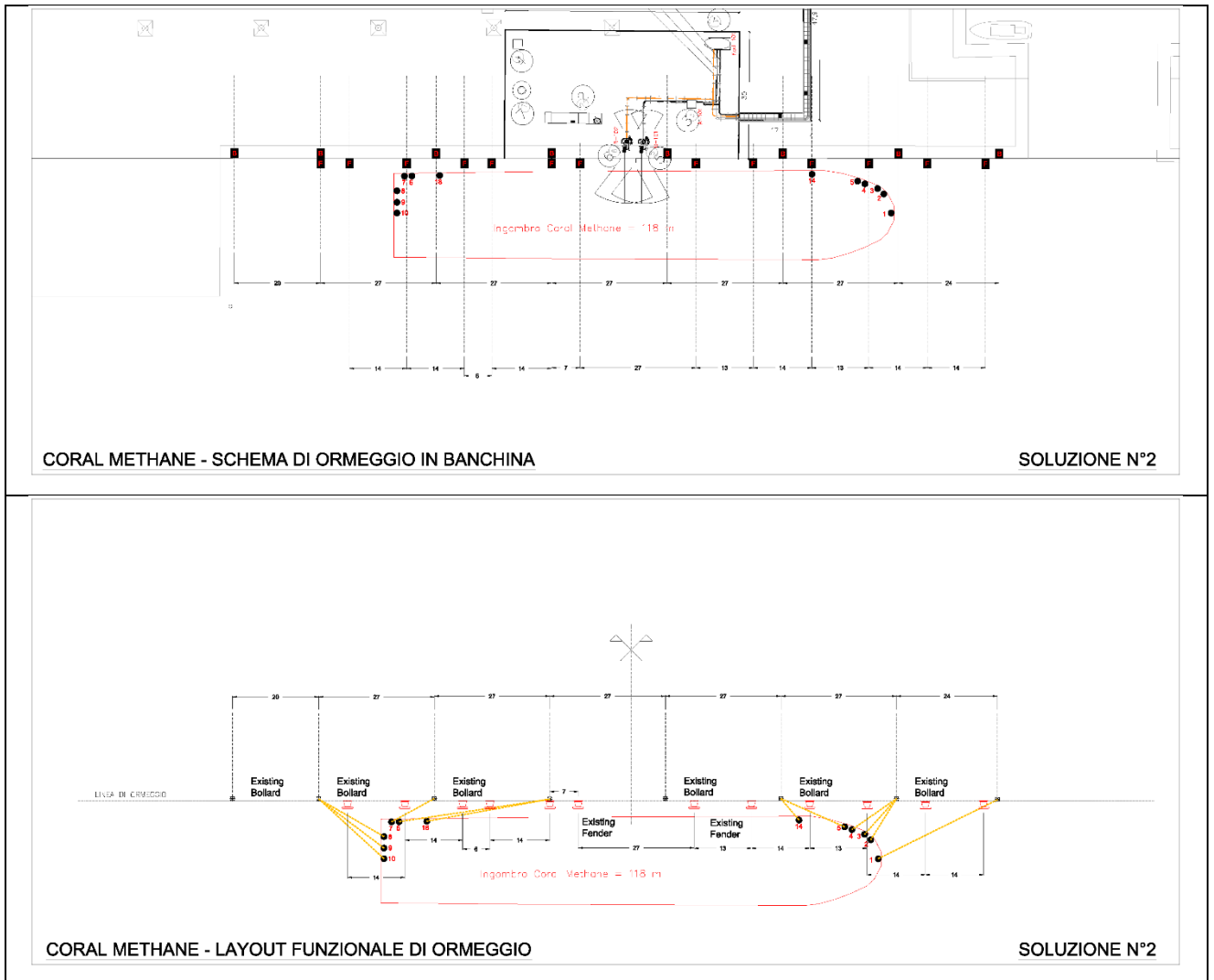


Figura 28: Schemi di ormeggio Coral Methane – Soluzione n°2

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:

	Numero di Linee	Tipo
<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

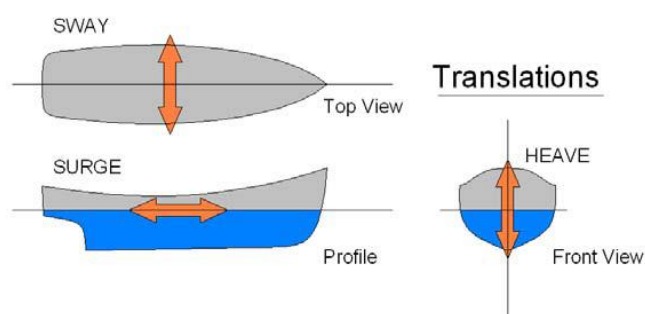


Figura 31: Limiti di operatività

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 “Pushing 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 coinvolge 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:

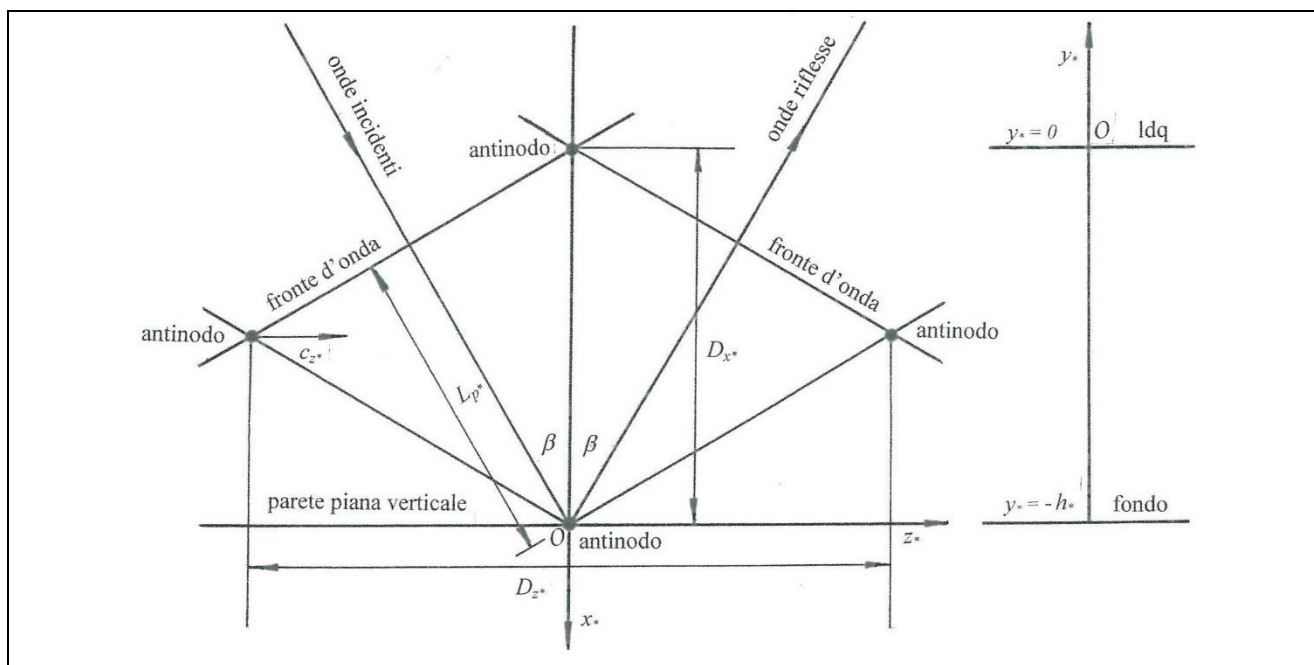


Figura 32: Modello di Fenton

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:



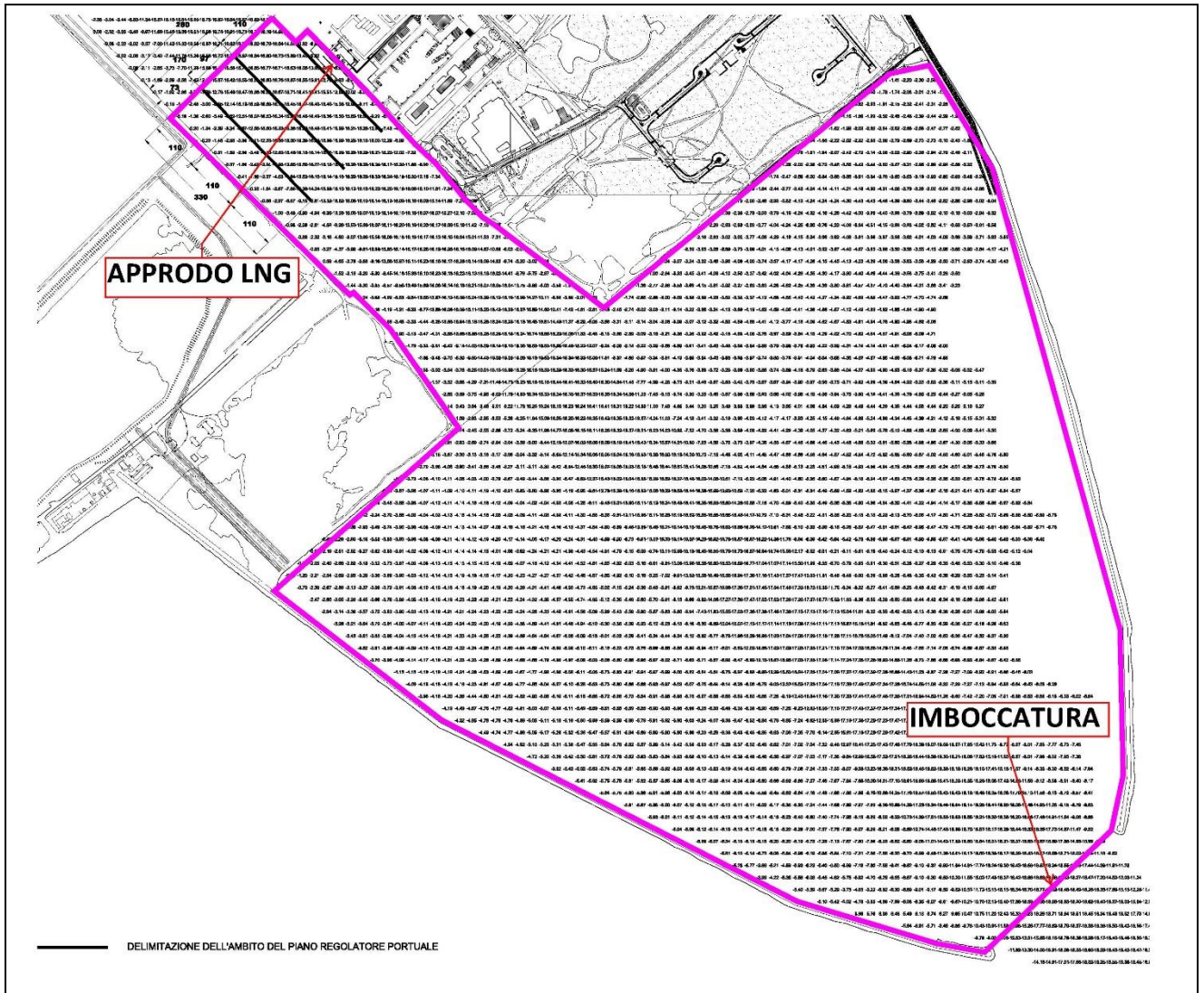
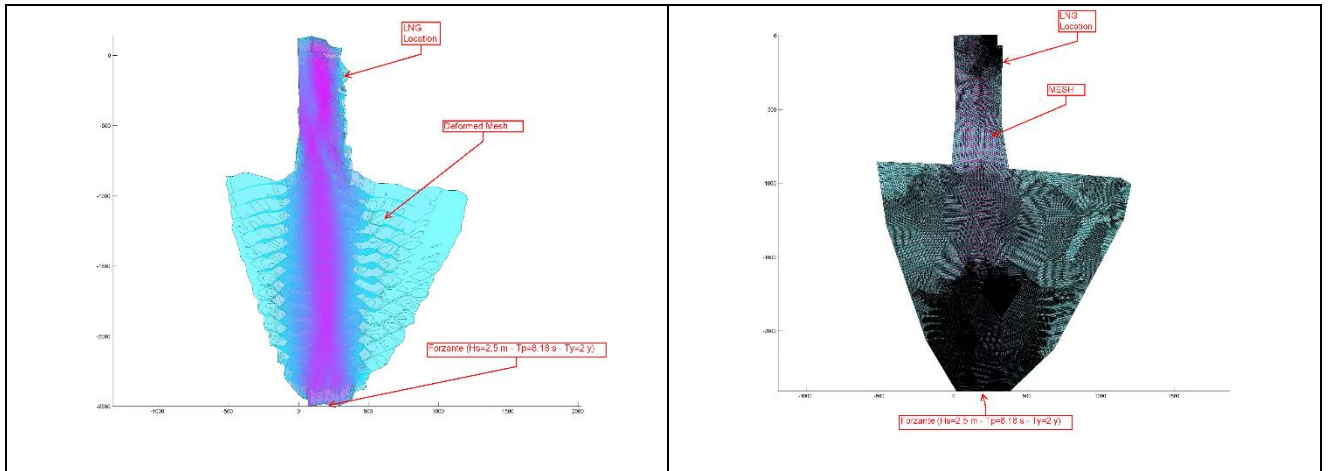


Figura 33: Discretizzazione dominio di calcolo – planimetria generale

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

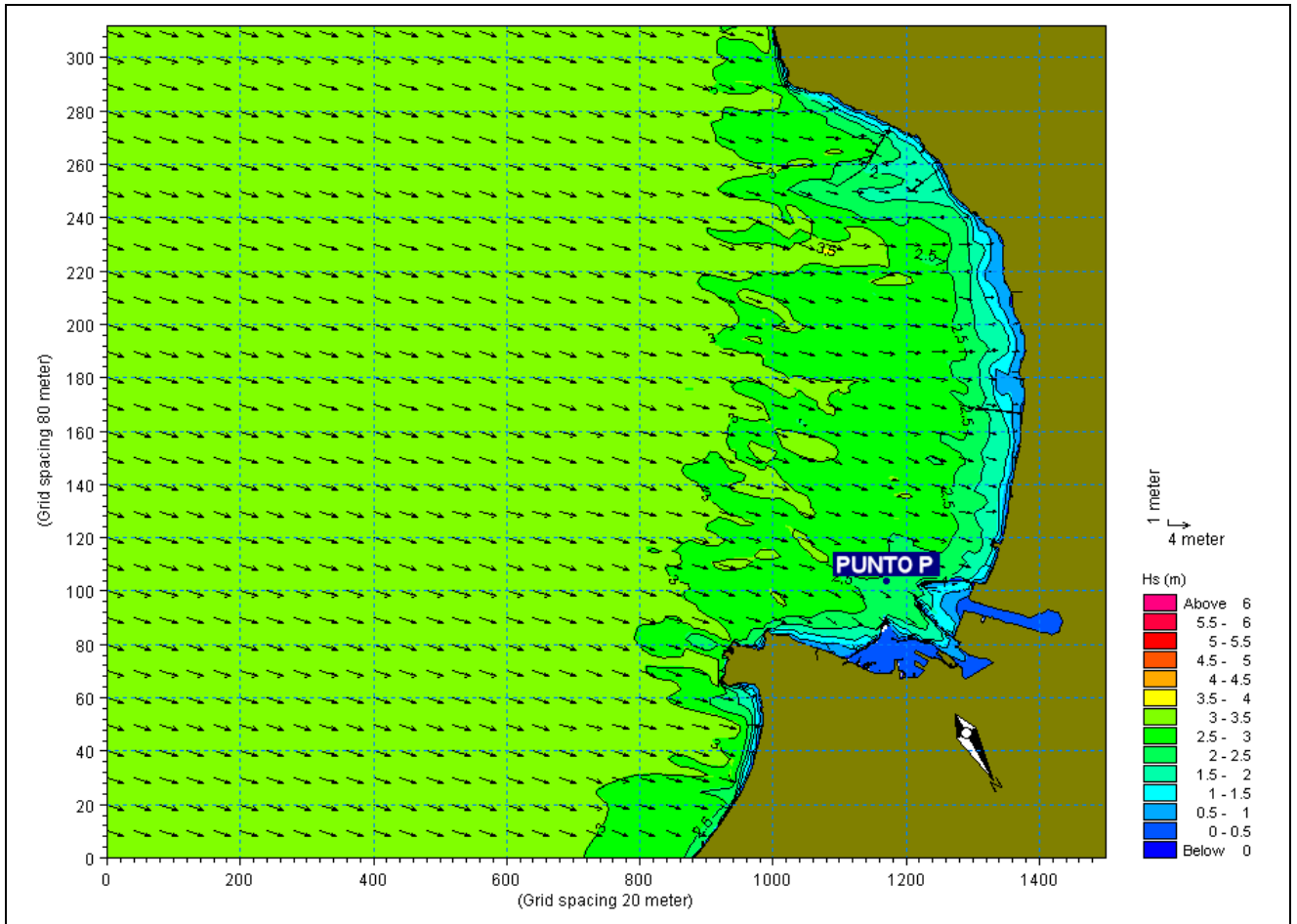


Il reticolo utilizzato è a maglie triangolari (triangoli quasi – equilateri). Per limitare l'errore numerico al di sotto della soglia del 3%, la densità dei triangoli aumenta di conseguenza in alcune zone portuali. Il contorno è stato discretizzato agli elementi finiti, destinando per le banchine verticali 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:

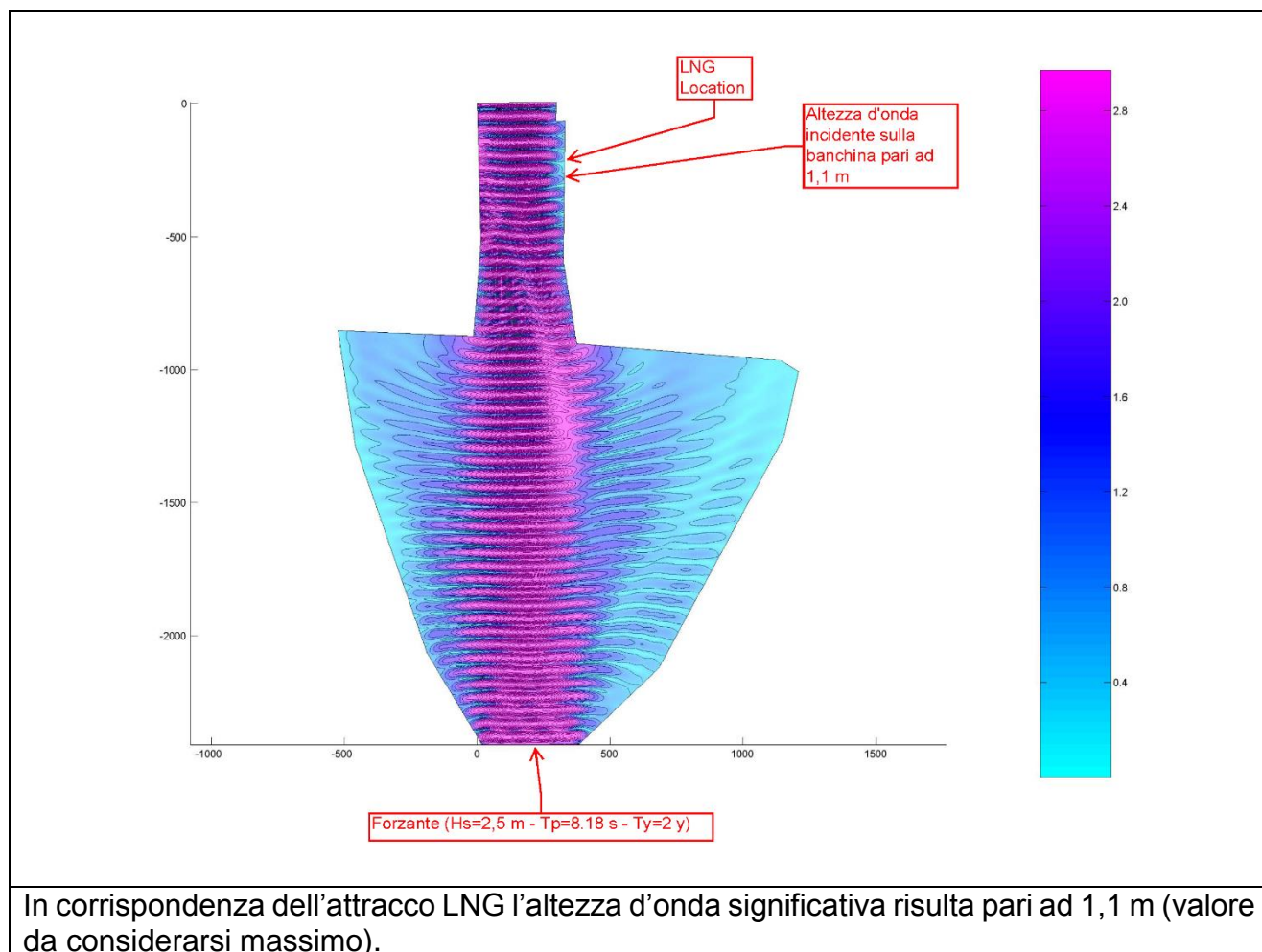


Figura 36: Agitazione ondosa – valori altezza d'onda

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

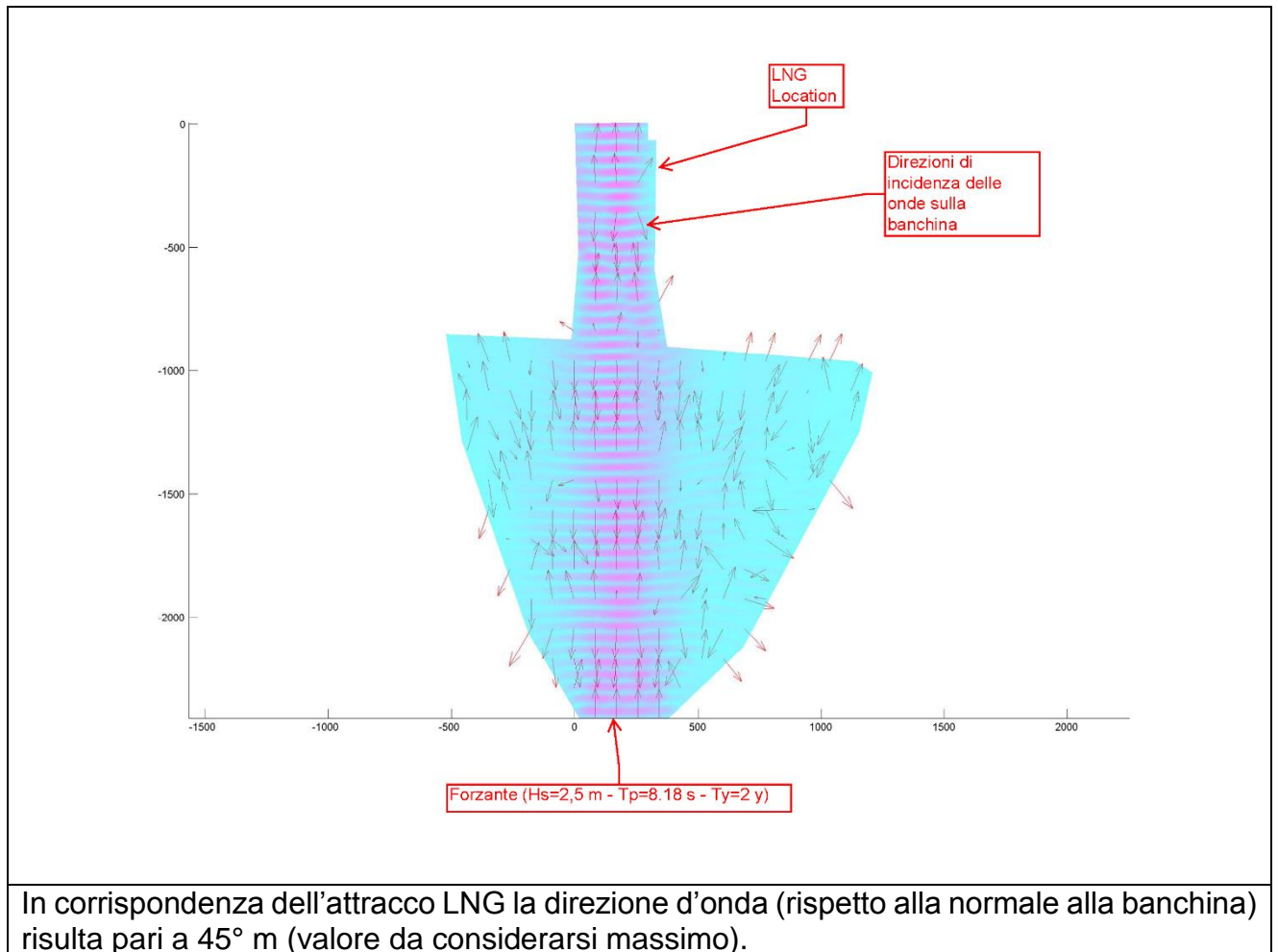


Figura 37: Agitazione ondosa – direzione di incidenza

*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 indicente 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

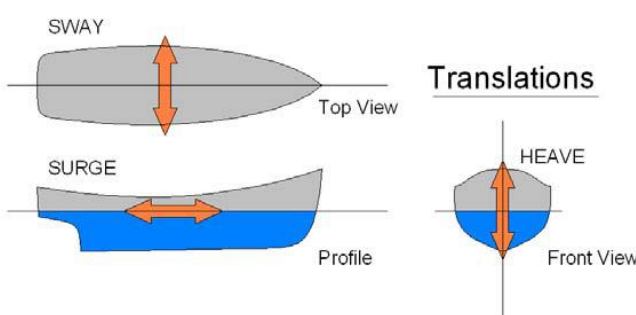
  


Figura 38: Limiti di operatività

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, risulta per le seguenti configurazioni tipo, pari a:

- nave tipo CMA-CGM-TOSCA – velocità pari a 6 nodi – Altezza pari ad 80 cm;
- nave tipo HAMBURG EXPRESS) – velocità pari a 6 nodi – Altezza pari a 100 cm;
- nave tipo HAMBURG EXPRESS) – velocità pari a 10 nodi – Altezza pari a 150 cm cm;

Lo schema utilizzato è il seguente (onda generata dalla prua della nave):

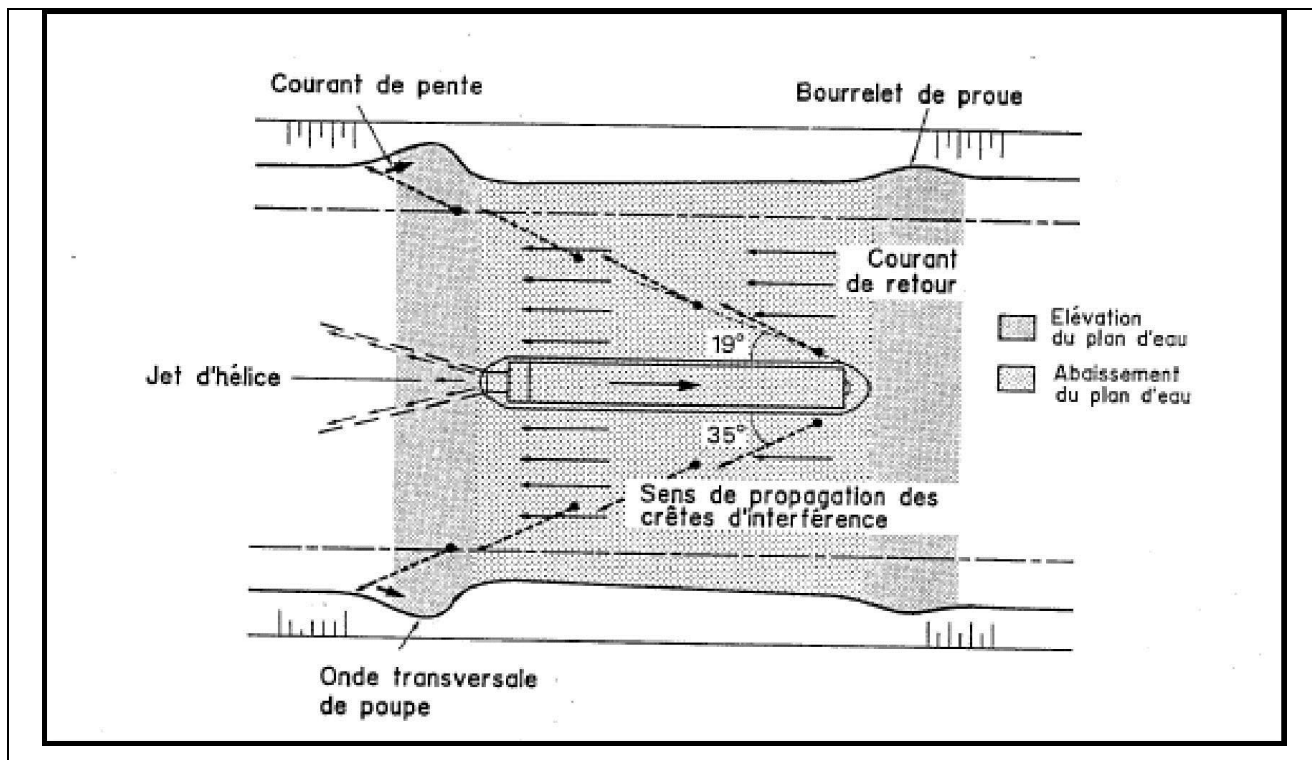


Figura 39: Agitazione ondosa prodotta da navi in transito – schema di riferimento

Utilizzando le relazioni indicate al paragrafo 4.6.1, si ottengono le seguenti altezze d'onda progressive incidenti sulla parete verticale o sullo scafo della nave metaniera ormeggiata (cioè ottenute considerando gli effetti di riflessione dello scafo o della banchina), che risultano pari a:

- nave tipo CMA-CGM-TOSCA – velocità pari a 6 nodi – Altezza pari ad 120 cm;
- nave tipo HAMBURG EXPRESS) – velocità pari a 6 nodi – Altezza pari a 130 cm;
- nave tipo HAMBURG EXPRESS) – velocità pari a 10 nodi – Altezza pari a 200 cm;

Come indicato al paragrafo precedente, le prime due configurazioni di agitazione ondosa (per velocità di transito pari a 6 nodi) sono comprese nei limiti massimi di operatività della banchina. Per quanto riguarda invece l'agitazione ondosa per velocità di transito pari a 10 nodi, l'altezza d'onda risulta superiore ai limiti consentiti.

Il traffico attuale prodotto da tali grandi navi contenitori, prevede 20/25 passaggi/mese (dei 60/65 totali), andata e ritorno, per una durata di 20 minuti cadauno. In tali situazioni, si può comunque, in concomitanza con il passaggio delle navi più grandi, 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 e la Capitaneria di Porto senza peraltro influenzare in modo significativo il piano operativo delle lavorazioni LNG in banchina.

Si fa comunque presente che presente che il transito delle grandi navi con velocità superiori a 6 nodi potrebbe produrre condizioni ondose tali da provocare tracimazioni in banchina, con relativo pericolo per le persone. Per tali configurazioni si veda anche quanto riportato nella relazione "studio della navigabilità e manovrabilità portuale" (doc. D\_01\_ES\_13\_SMN\_R01).

#### **4.7 Scenari richiesti dalla Capitaneria di Porto di Cagliari**

##### **4.7.1 Urto in banchina della nave gasiera impegnata in operazioni di carico/scarico**

Il braccio di carico marino di ultima generazione, proposto per il progetto, è dotato di un sistema automatico che legge la posizione del braccio (sia braccio interno che esterno), determinando l'eventuale superamento del campo di lavoro operativo, e l'ingresso in quello di allarme.

Il braccio di carico ha due soglie di allarme per il superamento del campo di lavoro operativo, al raggiungimento della prima soglia di allarme il sistema provvede a intercettare il passaggio di prodotto da nave a terra (e viceversa) mediante la chiusura della valvole a sfera (DBV-ERC), mentre al raggiungimento della seconda soglia provvederà a separare il braccio dalla nave, mediante lo sgancio di emergenza che comporta la separazione delle due valvole a sfera.

Nell'ambito di questa logica automatica, qualora l'urto/impatto di un altro natante dovesse comportare uno spostamento della gasiera portando il braccio di carico fuori dal campo di lavoro operativo, si attiverebbe in automatico la sequenza di emergenza sopra descritta.

*"La doppia valvola con sistema disconnessione serve, in caso di emergenza, a bloccare il flusso di prodotto e sconnettere il braccio di carico dalla nave. Il sistema è composto da due valvole a sfera localizzate sul tratto verticale del giunto triplo terminale del braccio di carico. Le valvole, comunemente chiamate DBV (Double Ball Valve) sono mantenute unite tramite un collare energizzato chiamato ERC (Emergency Release Coupler) che, in caso di emergenza, permette la separazione delle due valvole. La DBV-ERC è progettata per minimizzare il prodotto intrappolato fra le due valvole in caso di chiusura durante il trasferimento. In questo caso la tecnologia proposta evita di avere sovra pressioni fra le due valvole."*





Figura 40- Giunto triplo terminale

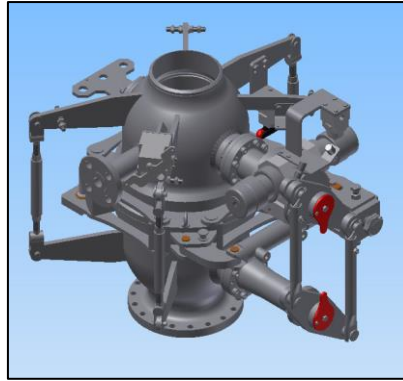


Figura 41 - Sistema ERC

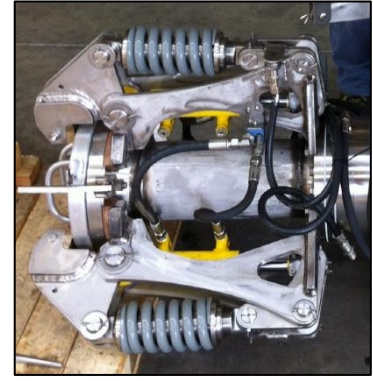


Figura 42- Attacco/stacco rapido

#### 4.7.2 Collisione della porta container con la nave gasiera impegnata in operazioni di carico scarico

Il terminal GNL in progetto riceve navi gasiere di piccola taglia. Le operazioni marine ovvero di carico e scarico del GNL sono quelle che destano la maggiore preoccupazione in impianti di questo genere, legate in particolare alla possibilità di urti. La sicurezza di queste operazioni è stata oggetto di recenti studi che affermano in sostanza che:

- Le caratteristiche strutturali delle navi gasiere (doppio scafo e doppio contenimento del GNL) rendono improbabile il rilascio di prodotto per arenamento o urto della nave contro il pontile.
- L'impatto di una nave terza contro la gasiera è in grado di causare il rilascio di GNL, in caso di urto ad elevata energia: le analisi strutturali citate mostrano che la perforazione del serbatoio non avviene nemmeno in caso di urto di una nave dalle dimensioni della gasiera, perpendicolare, a velocità di circa 7 nodi.
- La conseguenza più probabile di un urto di energia sufficiente a causare perforazione dei serbatoi (ndr per velocità maggiori di 7 nodi ed urti perpendicolari) è valutata in un foro di 750 mm di diametro. (1)

Lo scenario associato ad un urto è, come nel caso dei rilasci delle installazioni di terra, la fuoriuscita di GNL con conseguente formazione di pozza, possibile Pool Fire o evaporazione formazione di nube in condizioni di infiammabilità. Anche in questo caso eventi quali la esplosione della nave o la rottura dei serbatoi sono da considerarsi ipotesi non credibili dal punto di vista tecnico. (1)

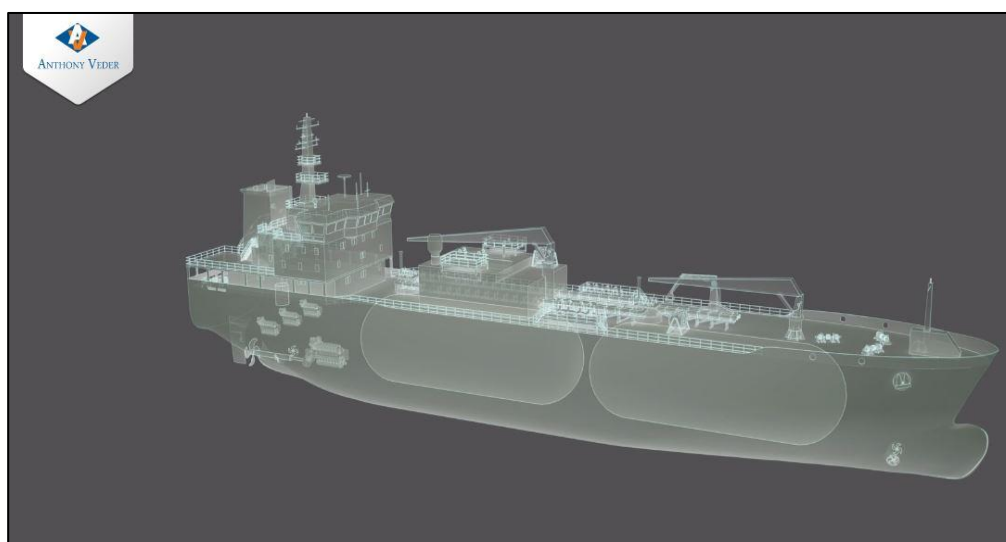


Figura 43: Posizionamento serbatoi di GNL all'interno delle LNG Carrier ([www.anthonyveder.com](http://www.anthonyveder.com))

### 4.7.3 Analisi storica

Il primo trasporto di GNL (2) tramite nave è avvenuto all'inizio del 1959 quando la Methane Pioneer (una ex nave Liberty che aveva subito evidenti modifiche) ha portato 5.000 mc di GNL da Lake Charles, Louisiana, fino a Canvey Island, vicino a Londra in Inghilterra. Il trasporto commerciale di GNL da nave è iniziato nel 1964 quando il GNL è stato trasportato da Arzew in Algeria all'isola di Canvey con due navi costruite appositamente: la Methane Princess e la Methane progress.

L'inquadramento sulla sicurezza registrato da queste navi LNG durante i quarantasei anni 1964 - 2010 è stato decisamente positivo. Durante questo periodo, infatti, la flotta di navi LNG Carrier ha consegnato più di 30.000 carichi di GNL ed ha viaggiato per oltre 100 milioni di miglia. In tutti questi viaggi e connessi operazioni di trasferimento di carico (carico / scarico) nessuna mortalità è mai stata registrata per un membro di qualsiasi equipaggio della nave per GNL o persona civile, in seguito di incidenti pericolosi in cui è stato coinvolto il GNL.

<sup>1</sup> ASPETTI DI SICUREZZA DEI TERMINALI DI RIGASSIFICAZIONE GNL - D'APPOLONIA S.p.A.

<sup>2</sup> SAFETY HISTORY OF INTERNATIONAL LNG OPERATIONS



In realtà, non c'è alcun report di incendio che si è verificato sul ponte o nella stiva, o nei serbatoi di carico di qualsiasi nave di GNL operativa.

Secondo il Dipartimento dell'Energia statunitense, oltre a quelle derivanti dall'industria del GNL vera e propria, sono otto gli incidenti in ambito marino in tutto il mondo, in cui è stata verificata la fuoriuscita di GNL con alcuni gusci danneggiati rotture causate dal freddo, ma non sono stati riscontrati incendi.

#### **4.8 Valutazione di possibili fenomeni di esplosione e fire ball**

Non sono ipotizzabili per i serbatoi di GNL fenomeni di esplosione: "fire ball" o BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion), ossia l'evento di rottura duttile delle lamiere di un serbatoio sottoposte contemporaneamente alla pressione interna del fluido e ad un riscaldamento che ne attenua la resistenza meccanica. Questo scenario comporta il cedimento del serbatoio con una brusca espansione-evaporazione del fluido contenuto e la proiezione di frammenti di lamiera a notevoli distanze. Il fluido rilasciato istantaneamente forma una palla o sfera di fuoco (fireball) che si dilata e si espande.

Lo scenario di esplosione confinata (CVE) di nave metaniera non è uno scenario ragionevolmente ipotizzabile. La nave è protetta da idonei sistemi di scarico delle sovrappressioni che garantiscono lo sfogo di eventuali sovrappressioni generate ad esempio da una prolungata mancanza di refrigerazione del GNL. Tale scenario è analogo a quello ipotizzabile per un serbatoio a terra.

Non essendo ipotizzabili scenari di esplosione non sono ipotizzabili effetti di sviluppo di onde di sovrappressione. La casistica storica non riporta tali tipologie di eventi.

In aggiunta l'esplosione **non è fisicamente possibile** perché il GNL all'interno dei serbatoi della nave, non è in condizioni di infiammabilità non essendo presente ossigeno-aria.

Rientra quindi nella categoria delle ipotesi non ipotizzabili la possibilità di "esplosione" della nave o di un suo serbatoio; il GNL può essere innescato solo dopo vaporizzazione e miscelazione con aria. L'energia totale associata alla massa di GNL nei serbatoi, che in alcuni casi è stata erroneamente considerata come misura della entità di una ipotetica esplosione, si libererà non istantaneamente ma in un tempo di molti minuti se non di ore, a seguito del processo di vaporizzazione e combustione.

In tali circostanze non si verificano comunque effetti di generazione di onde di sovrappressione come nel caso delle esplosioni.

## 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 l'Autorità Portuale e la capitaneria di Porto.

- 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 Knutsen 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 e velocità di transito non superiori a 6 nodi (tempo medio di inoperatività pari a 20 minuti per ogni passaggio – passaggi previsti 20/25 al mese).

Si fa inoltre presente che il Passing Ship di navi che transitano a velocità non superiore a 6 nodi (come indicato anche al paragrafo 4.6.3 della presente relazione) provoca un altezza d'onda massima in banchina  $< 1,2-1,5$  m. Tali condizioni determinano variazioni di pescaggio della gasiera ormeggiata in banchina che sono stati considerati (con verifiche positive) nelle verifiche di pescaggio massimo delle navi all'ormeggio in banchina (vedi anche paragrafo 4.3.4) e nella verifica dei sistemi di ormeggio di cui al paragrafo 4.4.



In particolare, l'urto in banchina della nave ormeggiata dovuto al Passing Ship delle navi aventi velocità non superiore a 6 nodi è stato verificato positivamente (come suddetto); Il doppio scafo e il doppio contenimento del GNL delle LNG carrier, rendono improbabile il rilascio di prodotto per arenamento o urto della nave contro il pontile o la banchina. Inoltre la conformazione del portocanale rende altamente improbabile che si creino le condizioni per un urto perpendicolare a velocità maggiore di sette nodi, in grado di sviluppare l'energia necessaria per perforare sia doppio scafo della nave che i serbatoi criogenici a doppio strato.

La perforazione del serbatoio della nave gasiera, impegnata nelle operazioni di scarico del GNL, è da ritenersi quindi un evento non credibile.

I sistemi di sicurezza dei bracci di carico invece permettono il totale isolamento del prodotto in caso di spostamento eccessivo durante le operazioni di carico e scarico.

Lo scenario di esplosione di nave metaniera BLEVE/Fire-Ball non è uno scenario ragionevolmente ipotizzabile, perché le navi gasiere sono protette da idonei sistemi di scarico di eventuali sovrappressioni generate ad esempio da una prolungata mancanza di refrigerazione del GNL.

Il GNL all'interno dei serbatoi della nave, non è infiammabile allo stato liquido, così come il vapore, che non essendo miscelato con aria, non si trova in condizioni di infiammabilità. Se ne deduce quindi che l'esplosione non è fisicamente possibile.

Il professionista



*Giovanni Spissu*



## **RIFERIMENTI:**

### **(1) ASPETTI DI SICUREZZA DEI TERMINALI DI RIGASSIFICAZIONE GNL**

Uguccione, G.<sup>1</sup>, Pezzo, T.<sup>2</sup>, Valente, E.<sup>2</sup> e Carpaneto, R.<sup>2</sup>

1 D'Appolonia SpA, via Martiri di Cefalonia 2, 20097 S. Donato Milanese

2 D'Appolonia SpA, via S. Nazaro 19, 16145 Genova

### **(VEDI ALLEGATO)**

### **(2) SAFETY HISTORY OF INTERNATIONAL LNG OPERATIONS**

CH-IV International Document: TD-02109, Rev. 12

Originally Published: July 2, 2002

Date of Current Revision: February 8, 2012

Baltimore Office 1341 Ashton Road, Suite A Hanover, MD 21076 410-691-9640

Houston Office 1221 McKinney, Suite 3325 Houston, TX 77010 713-964-6775

## ASPETTI DI SICUREZZA DEI TERMINALI DI RIGASSIFICAZIONE GNL

Uguccione, G. <sup>1</sup>, Pezzo, T. <sup>2</sup>, Valente, E. <sup>2</sup> e Carpaneto, R. <sup>2</sup>  
1 D'Appolonia SpA, via Martiri di Cefalonia 2, 20097 S. Donato Milanese  
2 D'Appolonia SpA, via S. Nazaro 19, 16145 Genova

### SOMMARIO

La situazione del mercato energetico, il contesto internazionale e la dipendenza energetica dell'Italia hanno portato recentemente ad un forte aumento del numero delle proposte per la realizzazione di Terminali di rigassificazione per la importazione di Gas Naturale in forma liquefatta (GNL), anche per una sostanziale diversificazione delle fonti di approvvigionamento. Ad oggi, in Italia, sono stati proposti oltre una decina di terminali, alcuni sono in fase di valutazione da parte delle autorità competenti, due sono in fase realizzativa. Una situazione analoga, se pure partendo da una condizione di maggiore utilizzo di GNL, esiste in Francia, Spagna, Usa, Canada oltre ai maggiori Paesi industrializzati dell'estremo Oriente. A riprova dell'interesse internazionale verso il GNL sta il fatto che a fronte di circa 140 navi gasiere esistenti, almeno altre 60 sono state commissionate per la realizzazione [1]. Questa crescita relativamente improvvisa in Italia, dove ad oggi esiste un solo Terminale operante dal 1971 (Panigaglia), ha fatto sì che numerose realtà si siano trovate a dover valutare una tipologia di impianto che se pur semplice dal punto di vista del processo, risulta essere nuova per quanto riguarda le tecnologie costruttive e la sostanza trattata, e per la quale si è dovuto sviluppare un approccio alla gestione delle tematiche di sicurezza non sempre simile alle tematiche trattate per gli impianti "a rischio" più familiari. La presenza di stoccaggi rilevanti di una sostanza non usuale (gas naturale liquido criogenico) ha poi causato atteggiamenti di preoccupazione nell'opinione pubblica spesso non giustificati dai possibili scenari incidentali attesi per questi impianti. Questo articolo, a partire dalla esperienza maturata dagli Autori nella redazione di Rapporti di Sicurezza per questo tipo di impianti e nella gestione degli iter autorizzativi associati, si propone di discuterne le principali problematiche di sicurezza con riferimento anche ad alcuni "luoghi comuni" negativi, talvolta riportati sulla stampa o sui mezzi di comunicazione e che sarebbero legati ai Terminali GNL di rigassificazione.

### 1.0 ASPETTI TECNICI DEI TERMINALI DI RIGASSIFICAZIONE

Il GNL è Gas Naturale (una miscela composta dal 85 – 90% di metano e per il rimanente da azoto e frazioni del gas naturale più pesanti, in particolare propano e butano) liquefatto in impianti di liquefazione posti nei Paesi produttori per mezzo di raffreddamento a circa -160 °C. Il gas così liquefatto viene trasportato in navi gasiere appositamente realizzate, di capacità tra i 60.000 e 140.000 metri cubi suddivisi in più serbatoi indipendenti, a pressione pressoché atmosferica. Queste navi trasportano il gas liquefatto dai Paesi produttori ai Paesi consumatori, dove i Terminali di rigassificazione svolgono le operazioni di ricezione della nave, scarico del prodotto (per mezzo delle pompe della nave stessa) e immagazzinamento del prodotto in serbatoi coibentati di dimensione variabile, solitamente da 50000 sino a 150.000 metri cubi o più (per le realizzazioni più recenti). In questi serbatoi il GNL è mantenuto a pressione pressoché atmosferica e alla sua temperatura di ebollizione (- 160 °C circa). La frazione di prodotto che vaporizza per effetto dello scambio termico attraverso la coibentazione è compressa e inviata ad un recipiente dove viene miscelata a prodotto ancora liquefatto e di nuovo recuperata nei serbatoi. Dai serbatoi di stoccaggio il GNL è inviato, attraverso due stadi di pompaggio (uno stadio assicurato da pompe sommerse poste all'interno dei serbatoi di stoccaggio che portano la pressione del GNL a circa 10 bar, un secondo stadio composto da pompe, solitamente del tipo a barilotto con motore sommerso, che porta la pressione a valori di circa 80 bar, necessari per l'invio del gas metano alla rete di distribuzione), ai vaporizzatori. Questi ultimi sono scambiatori di calore nei quali il GNL passa lato tubi alla pressione di invio alla rete e vaporizza



per scambio termico con un fluido riscaldante che può essere acqua di mare, acqua riscaldata mediante recupero di calore (ad esempio da una centrale termica adiacente al terminale) o mediante bruciatori o un fluido intermedio (ad esempio propano).

La figura seguente (tratta da [2]) mostra lo schema di processo di un tipico Terminale di rigassificazione.

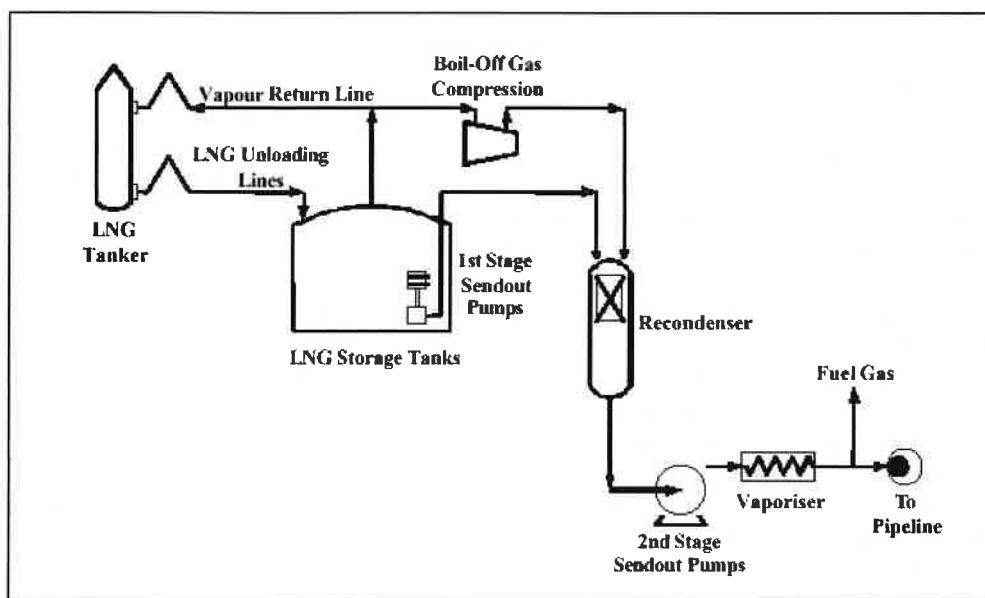


Figura 1 - Terminale di rigassificazione GNL - Schema di Processo Semplificato (da [2])

Dal punto di vista del processo, il Terminale di rigassificazione è quindi un sistema nel quale il gas liquefatto viene ricevuto via nave, stoccato, pompato in scambiatori di calore, gassificato e inviato in condotta per il successivo utilizzo.

Le tematiche di sicurezza di questi impianti sono legate non alla presenza di reazioni, anomale di sostanze incompatibili, di controlli di processo critici, di alte pressioni, di prodotti dalle caratteristiche di sicurezza o tossicologiche peculiari ma alla presenza di una grande quantità (sino a 160.000 metri cubi in un singolo serbatoio per la taglia di impianto di solito proposta in Italia) di un prodotto infiammabile a temperature estremamente basse e che quando riportato allo stato gassoso aumenta di volume di circa 600 volte rispetto allo stato liquefatto. Le caratteristiche di pericolosità del GNL, riportato allo stato gassoso, sono quelle del metano ovvero infiammabilità se in concentrazione tra il 5% e il 15% circa in aria, temperatura di autoaccensione 537°C. Il confronto tra le caratteristiche di pericolosità del gas naturale liquefatto e di altri comuni combustibili è riportato ad esempio in [3].

La sicurezza di un terminale di rigassificazione è quindi legata al contenimento del prodotto liquefatto, garantito dalle caratteristiche progettuali della nave, del serbatoio e infine delle apparecchiature di processo di trasformazione dalla fase liquida alla fase gassosa. Si evidenzia che proprio per questa tipologia di impianto è stata elaborata una norma europea ad hoc che stabilisce i criteri di progetto, di protezione e di studio anche per quanto riguarda il rischio, recepita in Italia dalla norma UNI EN 1473 [4].

Da un punto di vista tecnico, le soluzioni provate e considerate standard sono:

- Adozione di doppio scafo e serbatoio indipendente per le navi gasiere;

- Adozione di tecnologie di serbatoio provate [4]. In particolare, per quanto riguarda i terminali solitamente proposti in Italia, la tecnologia del ‘contenimento totale’, che consiste in un serbatoio in acciaio speciale racchiuso in un serbatoio esterno in calcestruzzo, in grado di contenere sia il gas che il liquido eventualmente derivante da un rilascio accidentale, oltre che di proteggere il serbatoio in acciaio da eventi esterni.
- Utilizzo di materiali speciali (acciai criogenici) per tutte le tubazioni e apparecchiature a contatto con il prodotto liquefatto.

La figura seguente, tratta dallo standard UNI EN 1473 [4] mostra le caratteristiche principali di un serbatoio a contenimento totale, per il quale gli standard ([4], [11]) escludono la possibilità di rilascio accidentale.

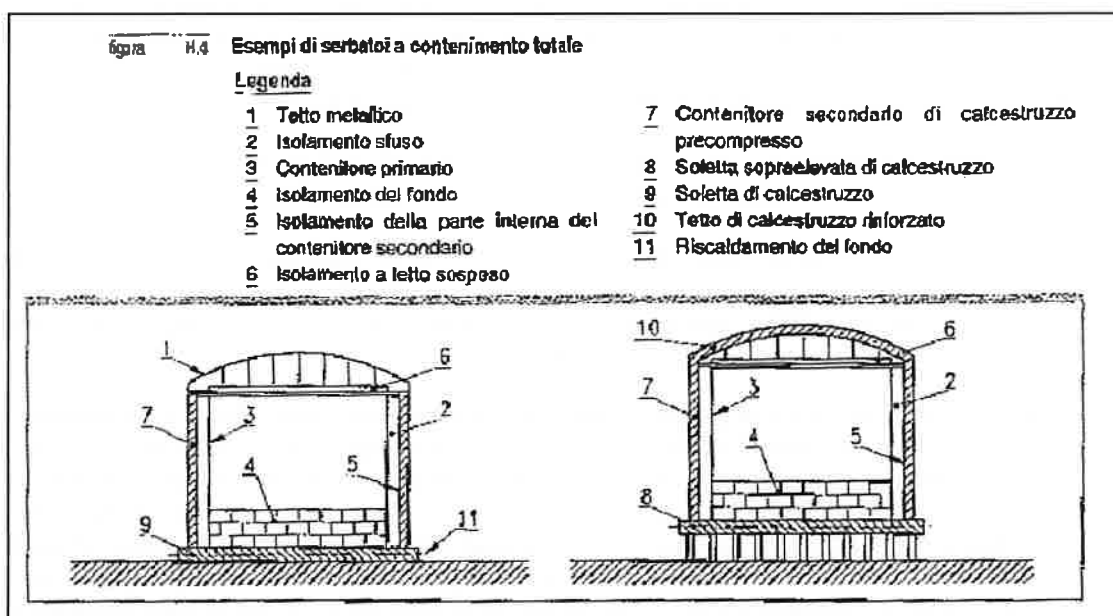


Figura 2 – Serbatoio a contenimento totale (da [4])

Standard internazionali ([4], [11]) definiscono in dettaglio i principi di sicurezza e le soluzioni tecniche considerate ‘best practice’ per la progettazione.

Oltre a quanto già indicato, talvolta sono adottate soluzioni particolari quali ad esempio tubazioni di collegamento interrate in doppio tubo o tubazioni poste in tunnel inertizzati qualora particolari condizioni (tipicamente la distanza del Terminale dal Pontile di approdo della nave) richiedano la adozione di tubazioni di trasporto del prodotto criogenico per lunghezze significative (alcuni chilometri) in aree non industriali.

## 2.0 PERICOLI ASSOCIATI ALLO STOCCAGGIO E ALLE APPARECCHIAURE DI PROCESSO DEI TERMINALI DI RIGASSIFICAZIONE

I pericoli associati ai Terminali GNL sono legati in particolare alla possibilità che il GNL venga rilasciato nell’ambiente per eventi di perdita di contenimento da tubazioni o apparecchiature. I Terminali infatti come ricordato non compiono operazioni di processo (reazioni etc) se non la rigassificazione di gas liquefatto per scambio termico; il pericolo di processo specifico legato allo stoccaggio di GNL è il “roll-over”, ovvero il rimescolamento del liquido contenuto nel serbatoio per fenomeni di stratificazione, che può portare alla evaporazione rapida di notevoli quantità di gas nel

serbatoio di stoccaggio con conseguente sovrappressione. Questo pericolo, manifestatosi nel terminale di Panigaglia nel 1971 (tale fenomeno di roll-over nel serbatoio di stoccaggio causò il rilascio di una notevole quantità di gas dalle valvole di sicurezza, all'epoca non dimensionate per questo specifico caso, senza però causare danni al serbatoio, all'impianto o al personale) e che comporta lo sviluppo di una grande quantità di gas è oggi controllato da specifici sistemi di controllo nei serbatoi ed è un evento di cui si tiene conto in fase di progetto attraverso il dimensionamento opportuno delle valvole di sicurezza dei serbatoi [4]. I metodi convenzionali di analisi dei pericoli dei processi (come ad esempio l'HAZOP) consentono di individuare in dettaglio eventuali altre potenziali fonti di pericolo legate al malfunzionamento di apparecchiature e/o ai controlli di processo e alle specifiche configurazioni di impianto e di individuare le misure di prevenzione e protezione più opportune.

Per quanto riguarda i pericoli legati al rilascio di sostanza l GNL (sostanzialmente metano) è associato al pericolo di infiammabilità propri del metano, infiammabile in concentrazione tra il 5% e il 15% circa in aria. Lo stato fisico del GNL (liquefatto a pressione atmosferica e a circa -160 °C) implica poi pericoli peculiari dello stato liquefatto, in particolare la formazione di pozze, la formazione di una nube di gas più pesante dell'aria (il metano rimane a densità superiore a quella dell'aria sino ad una temperatura di circa -100 °C) e la possibilità di evaporazione rapida a contatto con l'acqua e generazione di una onda d'urto (Transizione Rapida di Fase, RPT, [5]).

Gli scenari incidentali potenzialmente associati alla operazione di un Terminale GNL e che devono essere considerati nell'ambito della valutazione della sicurezza sono quindi:

- formazione di un getto incendiato ("Jet Fire"); il GNL rilasciato, a meno di condizioni particolari (rilascio a bassa velocità, rilascio contro un ostacolo) vaporizza nella quasi totalità formando un getto bifase; questo è quindi lo scenario più probabile a seguito di innesco presente nelle vicinanze del punto di rilascio;
- formazione di una nube di gas la cui parte in concentrazione entro i limiti di infiammabilità può dare luogo a combustione rapida ("Flash Fire"). Il metano è un gas scarsamente reattivo e la possibilità di generazione di una onda d'urto è limitata ai soli casi di nube confinata o di presenza di elevati gradi di congestione di impianto. I Terminali GNL sono impianti che si sviluppano sostanzialmente all'aperto, caratterizzati da una bassa densità di apparecchiature e di tubazioni e pertanto il Flash Fire lo scenario più probabile per innesco della nube di gas. In presenza di confinamento e per quantità di gas sufficientemente elevate la nube innescata può generare esplosione della nube di gas.
- possibile incendio di pozza ("Pool Fire"): è uno scenario che si ritiene scarsamente probabile per la rapida vaporizzazione del GNL rilasciato, ma è possibile per rilasci pressoché istantanei di grandi quantità o per rilasci ostacolati;
- Cambiamento di fase rapido (RPT) per contatto di GNL con acqua: Possibile in caso di rilascio di elevate quantità nell'acqua. Il fenomeno del'RPT, analizzato mediante campagne sperimentali [5], è ritenuto non in grado di dare sovrappressioni significative se non nelle immediate vicinanze del punto di rilascio e non si ritiene in grado di causare danno strutturale [6, 7]. La successiva Figura 3 (tratta da [5]) mostra la espansione del gas (RPT) in un esperimento con rilascio di 9 metri cubi di GNL in acqua; in questo esperimento furono misurate sovrappressioni equivalenti a 4.15 kg di TNT [5].



Figura 3 (tratta da [5]) – Fenomeno di RPT da rilascio di 9 m<sup>3</sup> di GNL in acqua (Lorient, Francia, Ottobre 1984)

Gli scenari sopra riportati possono manifestarsi in caso di rilascio di prodotto all'esterno per perdita di contenimento dovuto a difetti o a inadeguatezza di materiale o a eventi esterni, e costituiscono gli scenari incidentali che ragionevolmente dal punto di vista tecnico e per le caratteristiche chimico fisiche del GNL devono essere esaminati.

Altri pericoli a volte citati in associazione a Terminali GNL, si ritiene non siano da considerare. Il BLEVE, fenomeno genericamente associato ai gas liquefatti in pressione, non è possibile nel caso del GNL che è stoccato a pressione atmosferica. Un altro scenario a volte citato è poi la esplosione della intera massa di prodotto liquefatto contenuto nei serbatoi di stoccaggio a terra o sulla nave. Anche questo evento non è fisicamente possibile: il GNL infatti satura i serbatoi di stoccaggio, non è miscelato con aria, non si trova quindi nel campo di infiammabilità. Si evidenzia inoltre che in caso di rilascio del gas la liberazione della energia associata alla massa di gas si rende disponibile gradualmente, per evaporazione del prodotto rilasciato.

### **3.0 PERICOLI LEGATI ALLE OPERAZIONI MARINE CONNESSE AI TERMINALI DI RIGASSIFICAZIONE**

Il terminale di rigassificazione riceve il GNL da navi gasiere; la operazione di attracco e scarico della nave è considerato una delle principali fonti di pericolo, per la quantità di prodotto contenuto in essa (le moderne navi gasiere contengono sino a 150.000 m<sup>3</sup> di gas liquefatto) e per la preoccupazione legata in particolare alla possibilità di urti.

La sicurezza delle operazioni marine è stata in effetti oggetto recentemente di numerosi studi, ai quali si rimanda per dettagli [6, 7, 8]. In sintesi, dagli studi citati si può sostanzialmente concludere che:

- le caratteristiche strutturali delle navi gasiere (doppio scafo e doppio contenimento del GNL) rendono improbabile il rilascio di prodotto per arenamento o urto della nave contro il Pontile;
- l'impatto di una nave terza contro la gasiera è in grado di causare rilascio in caso di urto ad elevata energia: analisi strutturali citate in [7] (vedi Figura 4) mostrano che la perforazione del

serbatoio non avviene anche in caso di urto di una nave delle dimensioni della gasiera, perpendicolare, a velocità di circa 7 nodi;

- la conseguenza più probabile di un urto di energia sufficiente a causare perforazione dei serbatoi è valutata in [7] in un foro di 750 mm di diametro.

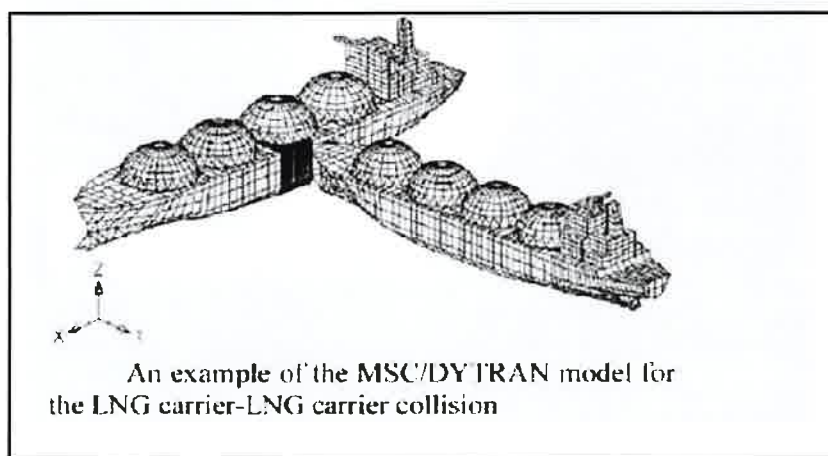


Figura 4 (Paik, 2001 citato in [7]) – Esempio di analisi strutturale di impatto nave-gasiera

Lo scenario associato ad un rilascio da urto è, come nel caso di rilasci dalle installazioni di terra, la fuoriuscita di GNL con conseguente formazione di pozza, possibile Pool Fire o evaporazione e formazione di nube in condizioni di infiammabilità. Anche in questo caso eventi quali la esplosione della nave o la rottura contemporanea dei serbatoi della nave sono da considerare ipotesi non credibili dal punto di vista tecnico.

Lo sviluppo degli scenari incidentali conseguenti a impatto e perforazione del serbatoio è schematicamente rappresentato in [1] come riportato in Figura 5.

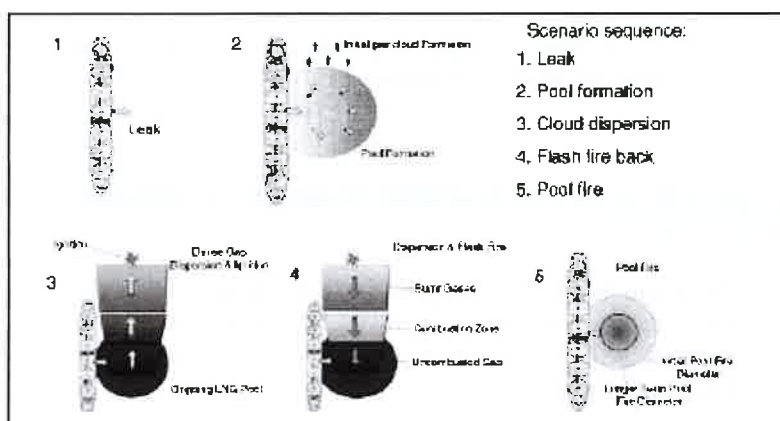


Figura 5 (tratta da [1]) – Scenari incidentali conseguenti a rilascio da nave

La effettiva sussistenza del pericolo di rilascio da nave, per il quale andrebbero poi applicati i criteri proposti negli articoli citati, deve essere valutata caso per caso considerando la stazza delle navi presenti e la effettiva possibilità di urto con velocità sufficienti a causare danno. Anche nel caso di effettiva sussistenza della possibilità di urto, uno scenario di esplosione dell'intero contenuto di un serbatoio o dell'intera nave non è fisicamente realizzabile, per i motivi esposti sopra.

#### 4 ESPERIENZA STORICA

Casi di rilascio di GNL in operazioni di trasporto, ricevimento rigassificazione sono riportati in numerose trattazioni disponibili nel “public domain” (ad es. [3]). La esperienza storica non riporta casi di rilascio di GNL significativi dopo il 1979 (incidente di Cove Point, USA, dovuto alla esplosione di GNL rilasciato e penetrato entro una cabina elettrica), ad eccezione di incidenti in impianti di liquefazione, tra i quali il recente incidente di Skikda (Algeria, 2004), nel quale un rilascio di GNL da perdita di contenimento in una sezione di processo è stato aspirato dalle prese di aria di una caldaia e qui esploso in ambiente confinato, con relativo effetto domino.

Per quanto riguarda il traffico navale, è comunemente citato il dato secondo cui in oltre 80000 trasporti non si sono mai verificati eventi con rilascio di GNL dai serbatoi della nave, anche in caso di arenamento o urto [3, 7].

La esperienza storica porta a concludere che:

- incidenti con rilascio di GNL sono avvenuti, in particolare nei primi tempi della tecnologia di stoccaggio e trattamento GNL (vedi il noto incidente di Cleveland, 1944) per utilizzo di materiali non adeguati al servizio criogenico; incidenti più recenti (ad esempio il caso di roll-over avvenuto a Panigaglia) hanno portato a individuare criteri di progettazione che rendono non più possibile tali eventi;
- nessun evento incidentale, a parte l'incidente del 1944 citato, ha portato a danni alla popolazione;
- gli ultimi circa 30 anni circa di esperienza di esercizio di terminali di rigassificazione non hanno portato a rilasci significativi di GNL, né si è registrato nessun evento con danni al personale o alla popolazione;
- i rari incidenti nel traffico navale non hanno portato a rilascio di prodotto dai serbatoi delle navi;
- gli incidenti accaduti in impianti di liquefazione GNL nei Paesi produttori, che hanno portato a danni al personale di impianto, sono legati a tipologie di impianto essenzialmente diverse dagli impianti installati nei terminali di ricevimento. L'incidente di Skikda, la cui causa iniziale è una perdita di contenimento, è stato poi innescato ed amplificato dall'ingresso di GNL in un ambiente confinato con presenza di innesco (boiler).

Nella ricerca di casi storici nel “public domain” va applicata una particolare cura nel verificare se incidenti attribuiti ad installazioni GNL sono in effetti legati a questo tipo di installazione. Ad esempio vengono citati da alcuni siti Internet di pubblico accesso, il caso della condotta Kalakama in Nigeria, 2005, definita ‘LNG Pipeline’ e che avrebbe comportato il rilascio di GNL con esplosione, danneggiamento di una area significativa e morte di numerose persone. Una ricerca più accurata all'origine delle fonti mostra che in realtà si tratta di una condotta di trasporto di gas naturale verso un impianto di liquefazione nella quale una segnalazione di rilascio di gas pare essere stata trascurata per tempi estremamente lunghi fino a portare alla rottura della linea e rilascio di gas naturale allo stato gassoso. Il fatto che la condotta sia di proprietà della Società “Nigerian LNG” (NLNG) ha poi portato ad attribuire erroneamente l'incidente ad una ‘pipeline LNG’.

Anche l'incidente avvenuto nel 1994 a Seoul, Corea, con 12 morti, attribuito a fuga di GNL è in realtà un incidente legato a gas naturale in fase vapore, probabilmente classificato come GNL perché il gas proveniva, come la totalità del gas utilizzato in Corea, da GNL rigassificato.

## 5. APPLICAZIONE ALLE ANALISI DI SICUREZZA

A differenza di quanto accade per altre tipologie di impianti soggetti alla direttiva Seveso, per i quali esistono procedure e criteri di fatto accettati per la redazione di analisi di sicurezza, per i Terminali GNL criteri ed assunzioni non hanno ancor raggiunto una sufficiente uniformità di analisi e valutazione.

La valutazione dei pericoli, condotta sulla base delle caratteristiche del prodotto e del processo e la esperienza storica portano ragionevolmente ad individuare nella perdita di contenimento da tubazioni o apparecchiature e conseguente possibile Jet Fire, Pool Fire, UVCE gli eventi di riferimento per la valutazione della sicurezza dei Terminali GNL.

La valutazione degli effetti degli scenari incidentali parte dalla definizione di casi di rilascio di riferimento. In generale, le dimensioni di rottura da associare ai rilasci dipendono dalla configurazione impiantistica e dalle cause di rilascio che possono essere identificate caso per caso. Considerando la adozione di materiali specifici per uso criogenico, il fatto che il metano non presenta caratteristiche di corrosività, le misure di collaudo e ispezione messe in atto si può ritenere che le dimensioni tipiche di rilascio applicate nelle analisi di sicurezza di altri impianti industriali, quali ad esempio quelle definite dallo standard API 581 [12] siano adeguate anche per la rappresentazione dei casi di rilascio rappresentativi per i Terminali. Tipicamente ciò comporta la valutazione di casi di rottura variabili da rilasci significativi ma di piccola entità (dimensione di rilascio 1/4") a rilasci di notevoli dimensioni (dimensione di rilascio 4") che sono solitamente associati a portate di rilascio molto elevate, anche pari alla portata massima operativa nella linea. La rottura completa di una tubazione (rottura a ghigliottina) non è, salvo casi particolari dove si riconosca la possibilità di impatti o di effetti domino esterni, un caso da considerare ragionevolmente credibile.

La NFPA [11] definisce un caso di 'design spill', definito come un rilascio della linea con portata massima per una durata di dieci minuti. Questo evento è tuttavia legato alla valutazione degli effetti da prodotto rilasciato in bacini di contenimento ed è esplicitamente escluso per 'full or double containment containers with concrete secondary containers' (anche la norma UNI EN 1473, [4], esclude esplicitamente la possibilità di rilascio da questi serbatoi). Per bacini di raccolta al servizio di apparecchiature di processo, la stessa NFPA [11] suggerisce un caso di riferimento dato dalla portata attraverso ogni singola fonte di rilascio, per una durata di 10 minuti o inferiore "based on demonstrable surveillance and shutdown provisions acceptable to the authority having jurisdiction".

La pratica seguita nella elaborazione dei Rapporti di Sicurezza che prevede la adozione di più casi di rilascio credibili, definiti come sopra, per le diverse sezioni intercettabili di impianto, caratterizzate da condizioni di processo differenti, e la adozione di tempi di intercettazione che tengono conto dei sistemi di protezione previsti (ad esempio seguendo i criteri dati dal D.M. 15/05/96 del Ministero dell'Ambiente [13] è pertanto in linea con le raccomandazioni degli standard internazionali.

Per quanto riguarda eventi legati alle operazioni marittime, in particolare rilasci da nave gasiera per urti, valgono le considerazioni esposte in precedenza. In particolare, la possibilità di rilascio da nave non può essere postulata come caso a priori, ma deve essere legata alla possibilità di un urto, dal momento che un rilascio per cause diverse, date le caratteristiche costruttive delle navi, e come confermato anche dalla esperienza storica, non è da ritenere un evento credibile o in termini probabilistici estremamente raro. In caso la ipotesi di urto di energia sufficiente sia da ritenere credibile, lo scenario incidentale associato può essere identificato come da [7], ovvero una sezione di rilascio massima di diametro 750 mm.

Il fenomeno della RPT è comunemente considerato un fenomeno che, seppure fisicamente possibile in caso di rilascio di grandi quantità di GNL sull'acqua, non è associato a campi di sovrappressione tali da causare danno, in particolare non è ritenuto possibile il danneggiamento della nave dal campo di pressione generato da un RPT.

Il fenomeno del BLEVE di apparecchiature contenenti GNL non è un fenomeno possibile per le condizioni di stoccaggio del prodotto.

Rientra invece nella categoria delle ipotesi “di fantasia” la possibilità di “esplosione” della nave o di un serbatoio; il GNL infatti può essere innescato solo dopo vaporizzazione e miscelazione con aria. L’energia totale associata alla massa di GNL nei serbatoi, che in alcuni casi è stata erroneamente considerata come misura della entità di una ipotetica esplosione, si libererà non istantaneamente ma in un tempo di molti minuti se non in ore, a seguito del processo di vaporizzazione e combustione

La entità delle conseguenze degli scenari incidentali derivanti da un rilascio dipenderà dalle condizioni di processo nella sezione interessata. Tutti i terminali sono sostanzialmente suddivisibili in quattro sezioni, ed a queste è opportuno fare riferimento per una valutazione completa degli effetti di incidente:

- una sezione a bassa pressione data dal sistema di tubazioni che collega la nave ai serbatoi, nella quale il GNL è allo stato liquefatto e a pressione solitamente non superiore ai 15 bar;
- una sezione immediatamente a valle dei serbatoi, che contiene GNL a pressione intorno ai 10 bar, tra le pompe di mandata (sommerse) e le pompe di rilancio ad alta pressione;
- una sezione a valle delle pompe di mandata ai vaporizzatori, nella quale il GNL è alla pressione di invio al gasdotto (circa 80 bar);
- una sezione a valle dei vaporizzatori, nella quale il Gas è allo stato di vapore e alla pressione di mandata al gasdotto (circa 80 bar).

La simulazione degli scenari incidentali è possibile con modelli analitici, basati anche sui risultati delle campagne sperimentali su dispersione e incendio di GNL condotte in particolare negli USA [1, 7]. In [1,] è riportata una valutazione comparativa di diversi modelli di calcolo delle conseguenze solitamente utilizzati, e in [8] è riportata una review dei diversi modelli analitici disponibili per la valutazione delle conseguenze. Una recente review della modellistica specifica per rilasci in mare è contenuta in [6].

La adozione dei modelli analitici più recenti utilizzati anche per altri impianti industriali risulta pertanto solitamente adeguata. In caso di dispersione di nube in ambiente o orografia particolarmente complessi, la adozione di modelli tridimensionali (CFD) è una strada che seppure scarsamente praticata può portare in prospettiva ad una migliore e probabilmente meno conservativa valutazione delle effettive distanze di danno.

La possibilità di generazione di una UVCE da nube di Gas naturale in fase vapore è legata alle condizioni del sito ed alla quantità di gas. Un criterio utilizzato per gas esplosivi di altra natura pone a 1500 kg [9, 10] la soglia di massa di gas in condizioni di infiammabilità sotto la quale non si ritiene possibile il fenomeno di UVCE. Tale criterio è probabilmente applicabile anche al gas generato da rilascio di GNL, data la bassa reattività del gas naturale; questa valutazione andrebbe tuttavia approfondita e ulteriormente validata.

## CONCLUSIONI

Terminali di ricevimento e rigassificazione GNL sono tipologie di impianto note e presenti in numero significativo nel mondo, tanto da consentire una notevole base di esperienza storica. Contrariamente ad altre tipologie di impianto è disponibile una norma europea recepita in Italia dalla UNI EN 1473 che stabilisce i principali criteri di progetto, dimensionamento ed analisi per tali impianti.



Dati e metodologie per la analisi della sicurezza sono noti e studiati, anche grazie alle campagne sperimentali condotte negli anni passati per comprendere meglio i fenomeni legati al rilascio e dispersione di gas liquefatti. A fronte di ciò appare comunque opportuno uno sforzo di razionalizzazione degli approcci e delle assunzioni, per garantire uniformità negli approcci seguiti nei diversi Rapporti di Sicurezza e nelle relative valutazioni. A titolo di esempio, i criteri per la valutazione della credibilità di UVCE, gli scenari di rilascio massimi da considerare effettivamente credibili, le assunzioni di base per la valutazione dei potenziali scenari di rilascio da nave sono aspetti che in questa ottica andrebbero approfonditi.

Tematiche non specifiche per Terminali GNL, ma comuni agli impianti industriali che ricadono nell'ambito di applicazione della Direttiva Seveso e che meriterebbero un approfondimento sono legate alla definizione di 'evento credibile', anche in riferimento ai criteri dati dal D.M. 9 maggio 2001 (relativo ai requisiti minimi di sicurezza per impianti industriali) e ad una migliore definizione dei criteri per la valutazione dell'effetto domino, che una applicazione letterale della legge (vedi ad esempi oil D.M. 9 maggio 2001 citato) porterebbe a considerare possibile già a partire da livelli di irraggiamento di 12.5 kW/m<sup>2</sup>, indipendentemente dalla durata del fenomeno.

Infine, si deve notare che riferimenti acritici a informazioni e dati disponibili nel "public domain" fanno ritenere possibili eventi incidentali impossibili, quali la esplosione di una nave gasiera con liberazione di energie confrontabili con quella di una o più bombe atomiche, così come fanno erroneamente attribuire a GNL eventi incidentali accaduti in sistemi che in realtà non trattano GNL.

Questa relazione vuole contribuire a mettere a disposizione alcuni elementi per consentire un dibattito tecnico su questi temi.

## RIFERIMENTI

1. Pitblado, R., Baik, J. and Raghunathan, V., LNG Decision Making approaches compared, Journal of Hazardous Materials, 130, 2006, pp. 148-154.
2. Tarlowy, J., Sheffield, J., Durr, C., Coyle, D., LNG Import Terminals – Recent Developments. [www.cheresources.com](http://www.cheresources.com), Online Chemical Engineering Informations
3. LNG Safety and Security; University of Texas, Center for Energy Economics, pp. 12-17, Ottobre 2003
4. UNI EN 1473 "Installazioni ed equipaggiamenti per il gas naturale liquefatto (GNL) – Progettazione delle installazioni di terra" – Maggio 2000
5. Niedelka, D., Sauter V., Goanvic, J., Ohba, R., Last developments in Rapid Phase Transition knowledge and modeling techniques, Offshore Technology conference, OTC 15228, Maggio 2003
6. SAND 2004-6258, Guidance on Risk Analysis and Safety Implications of a Large LNG spill over water, Sandia National Laboratories, Dicembre 2004
7. Pitblado, R., Baik, J., Hughes, G.J., Ferro, S., Shaw, J., Consequences of LNG Marine Incidents, CCPS Conference, Giugno 2004
8. ABS Consulting, Consequence Assessment Methods for Incidents involving Releases from Liquefied Natural Gas Carriers, Rapporto per FERC (Federal Energy Regulatory Commission), Maggio 2004.
9. Decreto Ministeriale, 15 Maggio 1996, Criteri di Analisi e Valutazione dei Rapporti di Sicurezza Relativi a Depositi di Gas e Petrolio Liquefatto (G.P.L.).
10. Decreto del Ministero dell'Interno (D.M.), 20 Ottobre 1998, Criteri di Analisi e Valutazione dei Rapporti di Sicurezza Relativi ai Depositi di Liquidi Facilmente Infiammabili e/o Tossici.
11. National Fire Protection Association, NFPA 59A, Standard for the production, Storage and Handling of Liquefied Natural Gas (LNG). 2006 Edition
12. American Petroleum Institute, API 581, "Risk-Based Inspection Base Resource Document", Maggio 2000
13. D.M. 15/05/96, Ministero dell'Ambiente "Criteri di analisi e valutazione dei Rapporti di Sicurezza relativi ai depositi di GPL"