



## TERMINAL GNL NEL PORTO CANALE DI CAGLIARI PROGETTO AUTORIZZATIVO

TERMINAL GNL NEL PORTO CANALE DI CAGLIARI  
PROGETTO AUTORIZZATIVO



### Progettazione

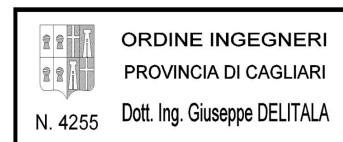
Società di ingegneria incaricata per la progettazione



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

## SIMULAZIONI DI MANOVRA NEL PORTO DI CAGLIARI

### 14 - SIMULAZIONI DI MANOVRA NAVALE

NOME FILE

D\_14\_SM\_01\_SIM\_R00

FORMATO

CODICE  
ELAB.

D 14 SM 01 SIM R00

REV. A

A4

A PRIMA EMISSIONE

Novembre 2018

CETENA

Delitala

Delitala

REV. DESCRIZIONE

DATA

REDATTO

VERIFICATO

APPROVATO

**Report n. 13255**

---





**Rev. 00**

## **Simulazioni di manovra nel Porto di Cagliari**

*Autori / Authors:* Chiara NOTARO, Massimo PEVERERO

*Data emissione / Issue date:* 29/10/2018

Pagina intenzionalmente bianca / *This page intentionally left blank*

Report n. <b>13255</b>	Rev. <b>00</b>	Data emissione / Issue date	29/10/2018
Titolo / Title <b>Simulazioni di manovra nel Porto di Cagliari</b>			
Autori / Authors Chiara NOTARO, Massimo PEVERERO			
Sommario / Abstract <p>Questo rapporto tecnico è finalizzato alla presentazione dei risultati delle simulazioni di manovra in tempo reale svolte da parte di CETENA S.p.A. nel Porto di Cagliari, per conto di SARDINIA LNG srl, nel corso delle due giornate di lavoro del 20 e 21 settembre 2018. Lo studio di manovrabilità qui descritto è stato eseguito per indagare le possibili interferenze tra le navi portacontainer normalmente in transito nel porto canale e la nave gasiera ormeggiata al Terminal LNG in progetto nei pressi dell'imboccatura. L'unità principale in simulazione, fatta transitare sia in ingresso che in uscita di fronte alla nave gasiera all'accosto, anche in condizioni di black out improvviso delle macchine e/o rottura dei cavi, è una portacontainer avente dimensioni massime pari a LOA x B x T = 334.0 m x 42.8 m x 14.5 m. E' stata eseguita anche una manovra di ingresso con la nave gasiera, avente dimensioni massime pari a LOA x B x T = 155.0 m x 22.7 m x 6.7 m. sono state simulate all'interno della configurazione portuale per il porto di Cagliari. Le prove si sono svolte in presenza di solo vento al traverso (essendo l'azione del mare ritenuta trascurabile in queste condizioni). Le prove sono state eseguite al simulatore di manovra real-time SAND dal Capo dei Piloti di Cagliari coadiuvato da un esperto esecutore messo a disposizione da CETENA, ed in presenza dell'Autorità Marittima (Capitaneria di Porto di Cagliari) e dell'Autorità di Sistema Portuale del Mare di Sardegna, oltre che del Cliente. In particolare, quale vincolo peggiorativo per il paraggio del porto è stato considerato vento proveniente dal III quadrante (SW o Libeccio) e di intensità variabile tra 5, 20 e 30 nodi di velocità.</p>			
Autori / Authors  		Verificato / Verified 	Approvato / Approved 
Circolazione / Circulation Interna / Internal Only  Libera / Free  <input checked="" type="checkbox"/> Riservata Industriale / Commercial in confidence  Classificata / Classified		Codici di distribuzione / Distribution codes COSIN srl - SARDINIA LNG srl	
Pagine / Sheets 59	Commessa / Job 6916048127	Note / Notes	

Questo Documento è di proprietà di CETENA S.p.A. Non può essere riprodotto, trasmesso con qualsiasi mezzo, inserito in altri documenti, svelato ad altri o comunque usato per qualsiasi scopo diverso da quello per il quale è stato prodotto, senza esplicita autorizzazione scritta di CETENA S.p.A. L'utente del documento ha l'onere di verificare di essere in possesso dell'edizione corrente.

This document is the property of CETENA S.p.A. It may not be reproduced, transmitted by any means, inserted into other documents, disclosed to others or otherwise used for any purpose other than for which it was produced without the express written permission of CETENA S.p.A. The user of the document has the responsibility of verifying of being in possession of the current edition.

---

## Revisioni Precedenti / Previous Revisions

<i>Rev.</i>	<i>Data / Date</i>	<i>Contenuto della Revisione / Revision Content</i>	<i>Autori / Authors</i>

## Contenuto della revisione corrente / Current revision content

Prima emissione/First release

## INDICE

<b>INTRODUZIONE</b> .....	<b>9</b>
<b>1 SCOPO DEL LAVORO</b> .....	<b>10</b>
<b>2 DESCRIZIONE DEL SIMULATORE DI MANOVRA SAND</b> .....	<b>13</b>
<b>3 Configurazione portuale e condizioni generali delle simulazioni di manovra</b> ....	<b>16</b>
3.1 Definizione dell'area schematizzata per le simulazioni di manovra.....	16
<b>4 DATI GEOMETRICI DI INPUT DELLE SIMULAZIONI</b> .....	<b>18</b>
4.1 Caratteristiche principali della Nave Portacontainer (LOA = 334 m) .....	20
4.2 Caratteristiche principali della Nave Gasiera (LOA = 155 m) .....	21
4.3 Caratteristiche principali dei rimorchiatori.....	22
<b>5 CONDIZIONI METEOMARINE</b> .....	<b>23</b>
<b>6 CONDIZIONI FINALI DI SIMULAZIONE E LORO ESECUZIONE</b> .....	<b>24</b>
6.1 Elenco e risultati delle manovre eseguite al simulatore .....	25
6.2 Note sull'esito delle manovre eseguite al simulatore .....	29
6.3 Presentazione dei file dei risultati delle simulazioni.....	35
<b>7 CONCLUSIONI</b> .....	<b>36</b>
<b>8 RIFERIMENTI</b> .....	<b>40</b>
<b>APPENDICE A</b> .....	<b>41</b>
<b>APPENDICE B</b> .....	<b>47</b>
<b>FOTO DELLE SIMULAZIONI</b> .....	<b>47</b>
<b>ALLEGATI</b> .....	<b>57</b>

## Indice delle Tabelle

Tabella 4-1 Caratteristiche principali della nave portacontainer .....	20
Tabella 4-2 Caratteristiche principali della nave gasiera .....	21
Tabella 4-3 Caratteristiche tecniche del primo rimorchiatore da 65.0 t di tiro massimo (azimutale) .....	22
Tabella 5-1 Condizioni meteomarine considerate per le simulazioni.....	23
Tabella 6-1 Elenco dei test eseguiti durante la sessione del 20/09/2018 (1° giornata).....	25
Tabella 6-2 Elenco dei test eseguiti durante la sessione del 21/09/2018 (2° e ultima giornata) ....	25
Tabella 6-3 Elenco dei test eseguiti con dettaglio ulteriore sulla tipologia di manovra .....	26
Tabella 6-4 Prove del 20-21/09/2018 – esito e commenti .....	28

## Indice delle Figure

Figura 1-2 Vista del Porto Canale con rappresentazione schematica del transito delle unità porta container (freccie in rosso) e della posizione della nave gasiera all'accosto (sagoma bianca).....	11
Figura 1-3 Simulatore SAND – Passaggio della nave portacontainer in ingresso presso l'accosto LNG.....	12
Figura 1-4 Simulatore SAND – Immagine rappresentativa della nave gasiera all'interno del layout portuale in 3D.....	12
Figura 2-1 Principali blocchi del modello matematico del simulatore SAND.....	13
Figura 2-2 Simulatore SAND – Plancia e vista esterna dello scenario 3D del Porto di Cagliari.....	14
Figura 2-3 Simulatore SAND – Vista dall'aletta di dritta della nave portacontainer dello scenario 3D del Porto.....	15
Figura 2-4 Simulatore SAND – Vista esterna dello scenario 3D con nave portacontainer in arrivo nel Porto.....	15
Figura 3-1 Simulatore SAND – Layout 2D del Porto di Cagliari.....	16
Figura 3-2 Simulatore SAND – Ingombro della nave gasiera considerato nel layout 2D.....	17
Figura 4-1 Simulatore SAND – Esecuzione delle manovre.....	18



## Appendice A

Fig. 1 - M01 .....	42
Fig. 2 - M02 .....	42
Fig. 3 - M03 .....	43
Fig. 4 - M04 .....	43
Fig. 5 - M05 .....	44
Fig. 6 - M06 .....	44
Fig. 7 - M07 .....	45
Fig. 8 - M08 .....	45
Fig. 9 - M09 .....	46
Fig. 10 – Simulatore SAND .....	48
Fig. 11 - Simulatore SAND .....	48
Fig. 12 - Simulatore SAND .....	49
Fig. 13 - Simulatore SAND .....	49
Fig. 14 - Simulatore SAND .....	50
Fig. 15 - Simulatore SAND .....	50
Fig. 16 - Simulatore SAND .....	51
Fig. 17 - Simulatore SAND .....	51
Fig. 18 - Simulatore SAND .....	52
Fig. 19 - Simulatore SAND .....	52
Fig. 20 - Simulatore SAND .....	53
Fig. 21 - Simulatore SAND .....	53
Fig. 22 - Simulatore SAND .....	54
Fig. 23 – Discussione dei risultati .....	54
Fig. 24 - Discussione dei risultati .....	55
Fig. 25 - Discussione dei risultati .....	55
Fig. 26 - Discussione dei risultati .....	56
Fig. 27 - Discussione dei risultati .....	56

## INTRODUZIONE

Il presente rapporto è finalizzato alla presentazione dei risultati delle simulazioni di manovra in tempo reale svolte nel porto di Cagliari, per conto di COSIN srl, da parte di CETENA S.p.A.

In particolare, è stata svolta l'indagine sulle possibili interferenze tra le navi portacontainer normalmente in transito nel porto canale e la nave gasiera ormeggiata al Terminal LNG in progetto nei pressi dell'imboccatura.

I test al simulatore di manovra in tempo reale si sono svolti il **20 e 21 settembre 2018**.

In particolare, le manovre sono state eseguite dal Capo dei Piloti di Cagliari (Com. Minutoli), coadiuvato da un esperto esecutore messo a disposizione da CETENA, ex-Capo dei Piloti del Porto di Genova (Com. G. Lettich), e dal personale CETENA.

Durante le due giornate di prove al simulatore sono intervenuti gli operatori interessati allo svolgimento dello studio, appartenenti ai seguenti Enti: Autorità di Sistema Portuale del Mare di Sardegna e Capitaneria di Porto di Cagliari.

Riportiamo brevemente qui di seguito una lista sintetica dei presenti alle varie giornate:

Partecipanti	Ente / Società di appartenenza	Note
Com. <b>M. MINUTOLI</b>	Capo dei Piloti di Cagliari	Esecutore delle manovre al simulatore
Com. <b>G. LETTICH</b>	Capo del Corpo Piloti del Porto di Genova	Esperto messo a disposizione da CETENA in affiancamento durante le manovre al simulatore
Ing. <b>G. DELITALA</b>	COSIN s.r.l.	Supervisione alle prove – Cliente
Ing. <b>S. MURGIA</b>	AdSP Mare di Sardegna	Supervisione alle prove – Autorità di Sistema Portuale
Sig. Carlo <b>COSTA</b>		
C.F. (CP) <b>F. ESPOSITO</b>	Capitaneria di Porto di Cagliari	Supervisione alle prove – Autorità Marittima
T.V. (CP) <b>C. BALATA</b>		
Ing. <b>M. PEVERERO</b>	CETENA S.p.A.	Preparazione del modello delle unità navali, degli scenari e setup delle funzionalità del simulatore. Post-processing in tempo reale dei test eseguiti.
Ing. <b>C. NOTARO</b>		Redazione del rapporto tecnico finale, assistenza e coordinamento durante le prove al simulatore

## 1 SCOPO DEL LAVORO

Il presente rapporto tecnico illustra i risultati delle simulazioni di manovra in tempo reale svolte nel porto di Cagliari da parte di CETENA S.p.A, per conto di SARDINIA LNG srl (d'ora in poi indicata come "Cliente").

Il layout portuale esaminato nello studio al simulatore corrisponde all'intero tratto del Porto Canale di Cagliari, modificato per la presenza all'accosto di una nave gasiera presso il nuovo Terminal GNL in progetto. Si prevede infatti la realizzazione di una struttura in banchina per la connessione e lo scarico del GNL, situata nei pressi del Terminal Grendi, da cui (attraverso un complesso di tubazioni criogeniche) il fluido sarà trasportato all'impianto a terra, ipotizzato nell'area evidenziata in rosso in Figura 1-1.



**Figura 1-1 Layout del Porto di Cagliari. L'area indicata in rosso rappresenta il terminal GNL in progetto [Rif. 1]**

Il principale obiettivo di questo studio affidato a CETENA è fornire al Cliente (e a tutti gli Enti interessati) elementi tecnici per la valutazione delle limitazioni del traffico navale nel Porto Canale in presenza della nave gasiera suddetta (Rif. 2), in cui in particolare è stata prescritta l'interdizione di qualsivoglia movimento di ogni altra nave nel porto canale – entrata, uscita o transito - allorquando la gasiera (o bettolina) è agli ormeggi (...)" nel terminal LNG.

A seguito della riunione svoltasi il 06 giugno 2018 a Cagliari presso l'Autorità di Sistema Portuale (alla presenza anche del Cliente e della Capitaneria di Porto, Rif. 3), è stato quindi commissionato a CETENA uno studio al simulatore di manovra real-time avente per scopo la valutazione della manovrabilità da parte delle navi di maggiori dimensioni che transitano in ingresso ed in uscita dal

Porto Canale (dirette al Terminal Container), in presenza di una nave gasiera all'ormeggio presso il suddetto accosto in progetto.

Si veda a tal proposito la seguente **Figura 1-2**, in cui le frecce rosse indicano schematicamente la direzione del transito da parte delle grandi unità portacontainer (che manovrano evoluendo presso il bacino di evoluzione situato in fondo al Porto Canale, cfr. Figura 1-1) e la sagoma di colore bianco è rappresentativa della silhouette della nave gasiera all'accosto presso il Terminal LNG in progetto.



**Figura 1-2 Vista del Porto Canale con rappresentazione schematica del transito delle unità porta container (frecce in rosso) e della posizione della nave gasiera all'accosto (sagoma bianca)**

Lo studio al simulatore ha verificato tutte le fasi delle manovre di transito nel Porto Canale, sia in arrivo che in partenza dalla banchina, da parte di una grande unità navale di tipo portacontainer, avente dimensioni di  $LOA \times B \times T = 334.0 \text{ m} \times 42.8 \text{ m} \times 14.5 \text{ m}$ . Sono state simulate sia le manovre in condizioni di normale svolgimento degli *arrivi* della nave nel Porto (comprese anche l'evoluzione all'interno del bacino evolutivo e le fasi finali di accosto, precedenti al lancio dei cavi di ormeggio), così come il distacco della nave in partenza da banchina e la successiva navigazione verso le acque libere. Sono state svolte anche manovre di *solo transito* (in ingresso) e di *ingresso* vero e proprio, sia in condizioni di normale svolgimento come sopra descritto, che in condizioni di **avaria** (es. black-out improvviso delle macchine e rottura del cavo di un rimorchiatore).

In tutti i casi analizzati (ingressi, uscite, transiti in ingresso, con e senza black out/avarie) la situazione è stata analizzata nel dettaglio, in relazione alle condizioni meteomarine prese in considerazione, principalmente dal punto di vista di: velocità della nave al passaggio presso l'ormeggio della nave gasiera, distanze dalla nave all'accosto e margini di sicurezza a disposizione nella manovra, in particolare in termini di percentuale di utilizzo della potenza di tiro dei rimorchiatori adottati.





**Figura 1-3 Simulatore SAND – Passaggio della nave portacontainer in ingresso presso l'accosto LNG**

Inoltre, è stata anche testata una unica manovra di ingresso da parte della nave gasiera, avente dimensioni di LOA x B x T = 155.0 m x 22.7 m x 6.7 m (cfr. immagine rappresentativa della nave in **Figura 1-3**).

La geometria portuale già oggi consente l'accosto da parte di navi di queste caratteristiche e dimensioni, pertanto si è trattato principalmente di una manovra volta a confermare la fattibilità delle manovre anche da parte di una unità LNG.



**Figura 1-4 Simulatore SAND – Immagine rappresentativa della nave gasiera all'interno del layout portuale in 3D**

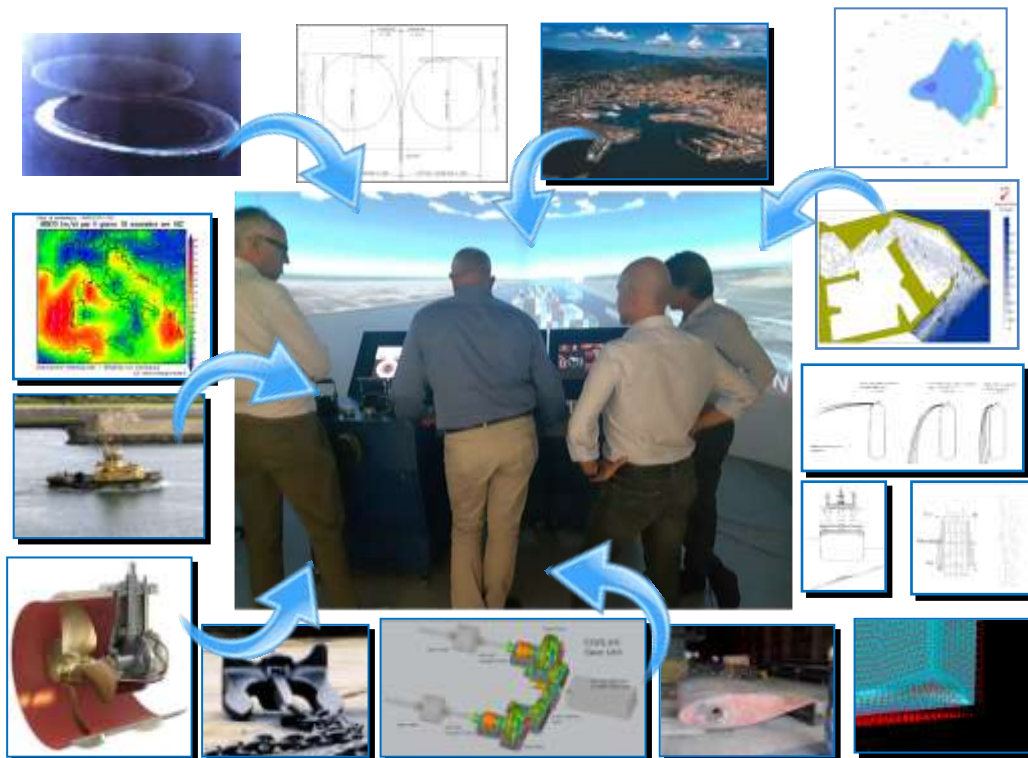
## 2 DESCRIZIONE DEL SIMULATORE DI MANOVRA SAND

Il SAND (Simulatore Distribuito di Addestramento alla Navigazione) contiene dentro di sé un modello matematico, interamente sviluppato da CETENA S.p.A., di cui verranno qui di seguito richiamate le caratteristiche generali [Rif. 4].

La nave da studiare va configurata in maniera dettagliata, inserendo nel modello i seguenti parametri, raggruppati secondo la struttura del modello stesso:

- ❖ Dati dello scafo
- ❖ Propulsione principale
- ❖ Apparato motore
- ❖ Appendici di carena
- ❖ Eliche di manovra
- ❖ Timone

Nella **Figura 2-1** sottostante è rappresentato in maniera schematica l'insieme dei blocchi che costituiscono la struttura del modello CETENA.



**Figura 2-1** Principali blocchi del modello matematico del simulatore SAND

Il simulatore integra dentro di sé, oltre agli aspetti propri della nave (geometria dello scafo, apparati di propulsione-generazione, appendici) anche il contesto in cui la simulazione ha luogo,

costituiti dallo stato di mare, dalla corrente, dal vento ("condizioni meteomarine"), dagli eventuali rimorchiatori utilizzati in manovra, dalla mappa del porto ("layout"), dagli effetti specifici legati alla posizione della nave (banchina, profondità dei fondali, ecc).

Infatti, un ruolo fondamentale nell'esecuzione della simulazione è giocato dall'interazione fra la nave e l'ambiente esterno riprodotto in realtà virtuale. Esso è realizzato introducendo nel modello della nave i seguenti parametri, generati in tempo reale dal simulatore:

- parametri ambientali (vento, corrente, onde del mare);
- effetti specifici relativi al porto considerato;
- acque ristrette;
- shallow water

In particolare, il simulatore è in grado di prevedere, come nel caso in studio in cui i fondali sono bassi in relazione all'immersione della nave in transito, il cosiddetto "effetto squat".

Inoltre, il sistema può accettare forze esterne in input, permettendo l'esecuzione di una classe di operazioni che includono la presenza di altre entità fisiche, e quindi di interazioni dinamiche fra la nave e ciò che la circonda, quali ad esempio i *rimorchiatori portuali*. *E' inoltre possibile simulare in tempo reale, come richiesto nel corso di questo studio al simulatore, condizioni di emergenza quali improvvisi black out (es. avaria dell'apparato motore e dei mezzi di propulsione ausiliaria) ed il conseguente studio degli effetti sulla traiettoria simulata della nave.*

Il laboratorio VISLAB del CETENA è attrezzato con un sistema di videoproiezione che consente la visualizzazione tridimensionale dello scenario portuale, della nave in simulazione e degli eventuali rimorchiatori in ausilio alla nave. Si veda a questo proposito la Figura 2-2.



**Figura 2-2 Simulatore SAND – Plancia e vista esterna dello scenario 3D del Porto di Cagliari**



In Figura 2-3 e Figura 2-4 sono rappresentate altre due viste esterne nell'ambientazione 3D realizzata per queste simulazioni, rispettivamente relative ad una vista dall'aletta di dritta della nave portacontainer in transito in ingresso nel porto canale nei pressi della nave gasiera all'accosto, e ad una vista esterna della nave portacontainer sempre durante una manovra nel medesimo tratto del porto canale, in cui sono anche visibili i due rimorchiatori col cavo in assistenza.



**Figura 2-3 Simulatore SAND – Vista dall'aletta di dritta della nave portacontainer dello scenario 3D del Porto**



**Figura 2-4 Simulatore SAND – Vista esterna dello scenario 3D con nave portacontainer in arrivo nel Porto**



## 3 Configurazione portuale e condizioni generali delle simulazioni di manovra

### 3.1 Definizione dell'area schematizzata per le simulazioni di manovra

L'area di manovra considerata per le simulazioni comprende sia il mare aperto nell'area a sud del Porto, sia le opere portuali sopra descritte.

Il *layout portuale* riportato nel simulatore SAND, e visualizzato nel display 2D della plancia, si presenta come nella **Figura 3-1**.

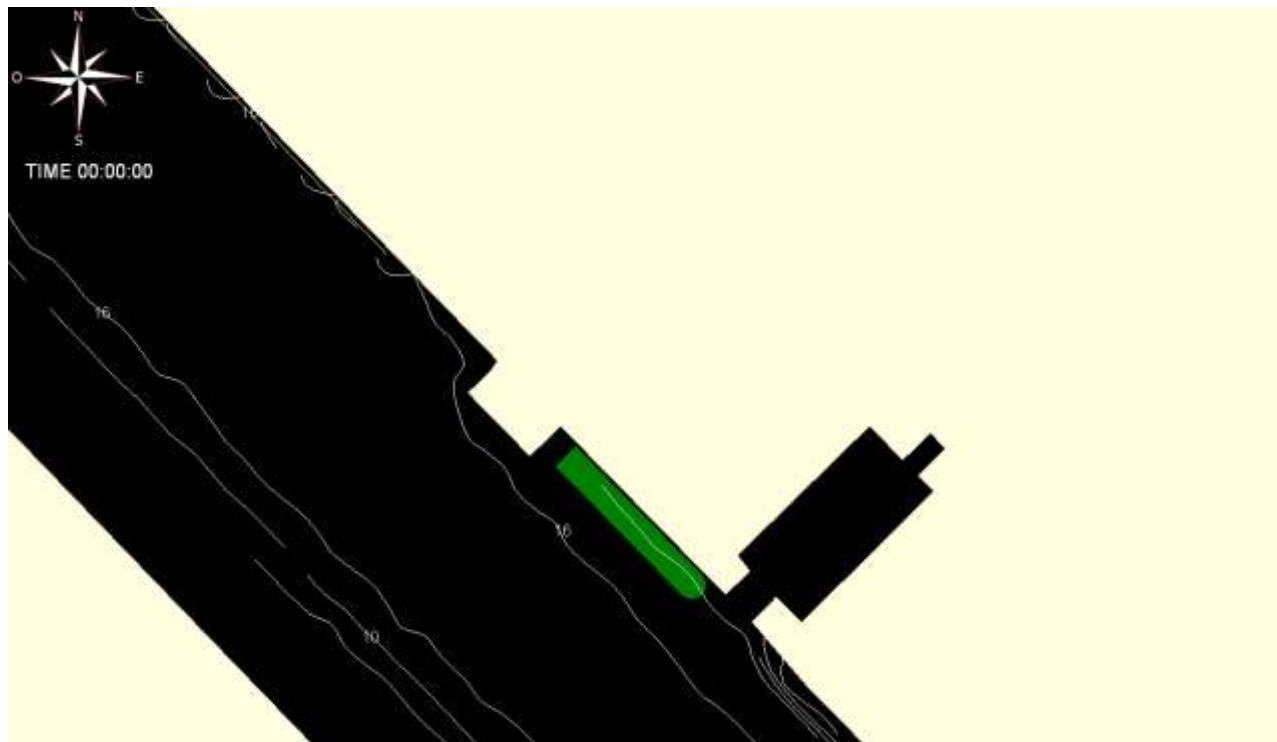


*Figura 3-1 Simulatore SAND – Layout 2D del Porto di Cagliari*

La mappa del porto (Rif. 5) è orientata secondo il Nord geografico, come indicato dalla rosa dei venti riportata in alto a sinistra. Un indicatore del tempo in ore, minuti e secondi è riportato subito sotto il simbolo della rosa dei venti.

La posizione iniziale della nave è stata posta generalmente in prossimità dell'imboccatura del porto canale (cfr. **Figura 3-1**).

Le dimensioni massime della nave gasiera considerata come ingombro sono LOA x B = 154.95 m x 22.7 m. Si veda a tal proposito la **Figura 3-2**, in cui è riportato il particolare del punto in cui è stato considerato l'accosto della gasiera.



**Figura 3-2 Simulatore SAND – Ingombro della nave gasiera considerato nel layout 2D**

Come verrà illustrato più avanti nel corso di questo paragrafo, per ogni configurazione meteomarina sono state prese in considerazione, secondo le indicazioni fornite dai Piloti, l'intensità e la direzione del vento all'interno del paraggio in studio, impostando i relativi parametri numerici di cui tener conto di volta in volta nell'impostazione della tecnica di manovra al simulatore.

La batimetria del Porto, visibile anche nelle **Figura 3-1** e **Figura 3-2**, è stata schematizzata utilizzando i dati forniti dal Cliente (Rif. 6).

Per quanto riguarda *la posizione iniziale delle navi in ingresso al Porto* durante i test, essa è stata generalmente posta, in accordo ai Piloti, ipotizzando l'unità posta presso l'imboccatura del Porto (Pilota già imbarcato), con prua orientata per circa 315°N e velocità iniziale di circa 5-6 kn.

La posizione iniziale dell'unità simulata in *uscita* dal Porto (solo nave portacontainer) è situata parallela alla propria banchina di accosto, con prua rivolta verso l'esterno.

## 4 DATI GEOMETRICI DI INPUT DELLE SIMULAZIONI

Nel seguito vengono illustrate le caratteristiche principali della nave portacontainer e della nave gasiera prese in considerazione per questo studio di manovrabilità.

Come si è detto in precedenza, visti gli scopi dello studio (cfr. **Capitolo 1**), al simulatore è stata principalmente testata la nave portacontainer in transito in manovra di ingresso o uscita di fronte alla nave gasiera in accosto, mentre è stata eseguita una sola manovra sulla nave gasiera.

Le *caratteristiche manovriere di ciascuna nave*, ovvero la tempistica e le modalità di reazione ai comandi impartiti dalla plancia del simulatore, sono state verificate positivamente durante l'esecuzione delle manovre da parte dei Piloti. Eventuali scostamenti rispetto alla realtà, ad esempio nella rispondenza del simulatore nelle fasi di transitorio dell'apparato motore, sono stati comunque giudicati tali da non inficiare il giudizio sulla fattibilità della manovra.

Il *modello manovriero della nave portacontainer*, una unità di grandi dimensioni a propulsione tradizionale, monoelica a passo fisso e dotata di 1 bow thruster di manovra a prua da 2100 kW di potenza, è stato definito inizialmente accedendo al database dei dati reali misurati da CETENA su unità della tipologia più simile a quella richiesta dal Cliente per l'esecuzione dello studio.

Al simulatore di manovra (cfr. **Figura 4-1**) è stato quindi testato il modello che rappresenta al meglio la famiglia di navi della tipologia richiesta. Si è proceduto in maniera del tutto analoga per la realizzazione del *modello manovriero della nave gasiera*, anch'essa a propulsione tradizionale, monoelica a pale orientabili, dotata di un bow thruster da 850 kW di potenza. Tale nave è stata modellata sulla base dei dati principali messi a disposizione dal Cliente (Rif. 7).



**Figura 4-1 Simulatore SAND – Esecuzione delle manovre**

Per quanto riguarda l'utilizzo di *rimorchiatori*, è stata valutata la fattibilità delle manovre al simulatore con l'ausilio di rimorchiatori aventi caratteristiche uguali a quelle delle unità attualmente in dotazione presso il Porto di Cagliari.

La tecnica di manovra da parte dei rimorchiatori in ausilio è stata impostata secondo le indicazioni dei Piloti (ed in particolare del Com. Minutolo), considerando le caratteristiche delle navi da simulare e al variare delle condizioni meteomarine di volta in volta prese in considerazione ed in particolare tenendo conto nelle modalità di intervento offerte dalla tipologia del rimorchiatore a disposizione (entrambi azimutali).

## 4.1 Caratteristiche principali della Nave Portacontainer (LOA = 334 m)

Le caratteristiche principali della nave portacontainer sono state riassunte in Tabella 4-1.

La nave è una monoelica a pale fisse, è propulsa da un apparato motore che sviluppa 57.1 MW ed ha una velocità massima di 21 nodi.

E' munita inoltre di 1 bow thruster da 2100 kW di potenza.



<b>Ship main data</b>		
Max speed	21	knots
Length between perpendiculars	320	m
Length over all	334	m
Beam	42.8	m
Draught	15.5	m
Displacement	155000	t
Frontal wind area	1400	m <sup>2</sup>
Lateral wind area	9000	m <sup>2</sup>
<b>Propeller data</b>		
Propeller number	1	FPP
Blades number	-	
Diameter	8.5	m
Propeller revolutions	-	RPM
<b>Engine data</b>		
Engine power	57000	KW
<b>Transverse thrusters</b>		
Bow thrusters	2100	KW
Stern thrusters	-	KW

*Tabella 4-1 Caratteristiche principali della nave portacontainer*

Come già anticipato, sono state eseguite manovre in condizioni di emergenza, in cui è stato simulato anche il black out delle macchine, con conseguente interruzione del funzionamento del motore, oltre che del timone e dei thruster.

## 4.2 Caratteristiche principali della Nave Gasiera (LOA = 155 m)

Le caratteristiche principali della nave LNG sono state riassunte in Tabella 4-2.

La nave è una monoelica a pale orientabili, è propulsa da un apparato motore che sviluppa 7.8 MW ed ha una velocità massima di 15.8 nodi.

E' munita inoltre di 1 bow thruster da 850 kW di potenza.



<b>Ship main data</b>		
Max speed	15.8	knots
Length between perpendiculars	145	m
Length over all	155	m
Beam	22.7	m
Draught	6.7	m
Displacement	18000	t
Frontal wind area	500	m <sup>2</sup>
Lateral wind area	1400	m <sup>2</sup>
<b>Propeller data</b>		
Propeller number	1	CPP
Blades number	-	
Diameter	5	m
Propeller revolutions	-	RPM
<b>Engine data</b>		
Engine power	7800	KW
<b>Transverse thrusters</b>		
Bow thrusters	850	KW

*Tabella 4-2 Caratteristiche principali della nave gasiera*

### 4.3 Caratteristiche principali dei rimorchiatori

*Le caratteristiche principali dei rimorchiatori considerati nel modello di simulazione sono le stesse di quelli attualmente impiegati presso il Porto di Cagliari. In*

Tabella 4-3 e **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** sono riportate le caratteristiche principali dei rimorchiatori, due unità a propulsione azimutale (Schottel) da 65 t di bollard pull.

<b>Rimorchiatori azimutali B.P.= 65 t</b>	
Lunghezza fuori tutto	30.00 m
Larghezza massima	11.0 m
Tempo di aggancio	40 s
Tempo di sgancio	20 s
Velocità media	3 m/s
Lunghezza massima del cavo	35 m
Potenza di tiro a punto fisso	65 ton
Tipologia rimorchiatore	Azimutale -2 Schottel

**Tabella 4-3 Caratteristiche tecniche del primo rimorchiatore da 65.0 t di tiro massimo (azimutale)**

I rimorchiatori sono stati schematizzati nel simulatore sulle due unità realmente esistenti "Andrea Onorato" e "Tommaso Onorato" (5000 cv di potenza, 65 t di bollard pull, e dimensioni principali LOA=30m, B= 10m), sulla base delle indicazioni fornite dagli operatori portuali<sup>1</sup>. In generale, per l'esecuzione di questo studio è stato scelto di operare facendo riferimento ad una squadra composta da un numero minimo di due rimorchiatori che, a giudizio dei Piloti presenti alle prove, si rendono necessari per poter manovrare in sicurezza nel Porto canale. I rimorchiatori sono stati quindi utilizzati in coppia (tipicamente, il primo rimorchiatore azimutale da 65 t legato a poppa ed il secondo legato a prua). Per la rappresentazione al simulatore dei rimorchiatori, azionati tramite un touch screen dedicato sulla parte destra in basso della plancia del SAND (cfr. Figura 2-2), si tenga presente che è possibile gestirne sia la posizione attorno alla nave, che la percentuale di potenza erogata in tiro o in spinta, variata in tempo reale dall'operatore (alternativamente il Com. Lettich oppure il Com. Minutoli, che si sono alternati al comando della plancia), in base alle indicazioni del Pilota al comando dell'unità navale simulata, nel rispetto della pratica comunemente utilizzata.

<sup>1</sup> Moby spa – Divisione Rimorchiatori, telefonata del 11/09/2018



Come già anticipato, sono state eseguite manovre in condizioni di emergenza, in cui è stata simulata anche la rottura del cavo di uno dei rimorchiatori.

## 5 CONDIZIONI METEOMARINE

Le condizioni meteomarine scelte per le simulazioni sono basate sulle indicazioni fornite a CETENA dal Cliente, su consiglio dei Piloti del Porto di Cagliari.

Per i test svolti nelle due giornate sono state individuate le condizioni di riferimento per la navigazione simulata, caratterizzandole tramite velocità e direzione del *vento* (simulato con raffica, misurato in nodi). Non sono state prese in considerazione condizioni meteomarine in cui vi sia la presenza di *formazione ondosa* né dell'azione della *corrente*.

Con riferimento agli obiettivi di questo studio di manovrabilità (cfr. **Capitolo 1**) per le simulazioni sono state scelte in particolare le condizioni meteomarine più sfavorevoli per il transito da parte delle unità nel paraggio del porto canale di Cagliari, ovvero quelle di Libeccio (vento proveniente da SW), pur caratterizzate da basse probabilità di occorrenza. Non è stato qui preso in considerazione il Maestrale, proveniente da NW, maggiormente frequente, ma che (per come è orientato il porto canale) interessa la nave lungo il suo asse longitudinale, e quindi non ne compromette il mantenimento della traiettoria in manovra di transito.

Il test iniziale relativo alla nave portacontainer è stato svolto in condizioni prossime alla calma (velocità del vento uguale a 5 kn), a scopo di calibratura del simulatore e di presa di confidenza da parte del Pilota rispetto ai comandi.

Le condizioni meteomarine adottate nello studio sono sintetizzate nella seguente **Tabella 5-1**:

<b>CONDIZIONI METEOMARINE</b>	
<b>Simulazioni di Manovrabilità - Porto di Cagliari</b>	
<b>Condizione</b>	<b>Vento - Direzione ed intensità</b>
ordinaria	SW (225°N) – ~ <b>Libeccio, 5 kn</b>
severa	SW (225°N) – ~ <b>Libeccio, 20 kn</b>
estrema	SW (225°N) – ~ <b>Libeccio, 30 kn</b>

**Tabella 5-1** Condizioni meteomarine considerate per le simulazioni



## 6 CONDIZIONI FINALI DI SIMULAZIONE E LORO ESECUZIONE

Definiti i singoli aspetti delle simulazioni (schematizzazione del layout portuale, fondali, caratteristiche principali delle unità navali e dei rimorchiatori, condizioni meteomarine) CETENA ha concordato con il Cliente una tabella di manovre da eseguire durante le prove al simulatore, svoltesi in due sessioni durante le giornate del **20 e 21 settembre 2018**.

I principali aspetti e le criticità emerse durante le simulazioni eseguite nelle due giornate sono stati via via discussi fra tutti i presenti già in corso d'opera, e condivisi al termine della giornata del 21 settembre durante una riunione collegiale finale, in cui è stato possibile raccogliere le osservazioni conclusive del lavoro svolto.



L'insieme di tutti i commenti e le osservazioni scaturite da questo studio al simulatore è riportato accuratamente nelle **Conclusioni** al termine di questo rapporto (v. **Capitolo 7**).

## 6.1 Elenco e risultati delle manovre eseguite al simulatore

In **Tabella 6-1** e **Tabella 6-2** sono elencate le prove che sono state eseguite al simulatore rispettivamente durante le giornate del 20 e 21 settembre 2018, nei vari scenari meteomarini che si è deciso di testare (per comodità qui classificati come ordinari, severi ed estremi), riportando inoltre il dettaglio relativo agli ingombri presenti nel layout portuale preso in esame (nave gasiera da 155 m di lunghezza all'ormeggio) e il tipo della manovra (I= ingresso, U=uscita).

SESSIONE DEL 20/09/2018	ELENCO DELLE MANOVRE ESEGUITE AL SIMULATORE - PORTO CANALE DI CAGLIARI -						
	Nave	Ingombri	N° TEST	TIPO	VENTO		Scenario Meteomarino
					Velocità [kn]	Direzione [°]	
	Container Ship 334 m	LNG 155m	M01	I	5	225	ordinario
	Container Ship 334 m	LNG 155m	M02	I	20	225	severo

**Tabella 6-1** Elenco dei test eseguiti durante la sessione del 20/09/2018 (1° giornata)

SESSIONE DEL 21/09/2018	ELENCO DELLE MANOVRE ESEGUITE AL SIMULATORE - PORTO CANALE DI CAGLIARI -						
	Nave	Ingombri	N° TEST	TIPO	VENTO		Scenario Meteomarino
					Velocità [kn]	Direzione [°]	
	Container Ship 334 m	LNG 155m	M03	I	30	225	estremo
		LNG 155m	M04	I	20	225	severo
	Container Ship 334 m	LNG 155m	M05	I	30	225	estremo
	Container Ship 334 m	LNG 155m	M06	I	20	225	severo
	Container Ship 334 m	LNG 155m	M07	I	20	225	severo
	Container Ship 334 m	LNG 155m	M08	U	20	225	severo
	LNG 155m	Container Ship 334 m	M09	I	20	225	severo

**Tabella 6-2** Elenco dei test eseguiti durante la sessione del 21/09/2018 (2° e ultima giornata)

Si precisa che, alla luce degli scopi del lavoro, alcune delle manovre indicate come di ingresso sono in realtà solo di "transito" in ingresso, come indicato nel dettaglio in **Tabella 6-3**. In questa tabella è stato anche riportato il dettaglio relativo all'esecuzione della manovra in caso di improvviso black out, come verrà spiegato più avanti nel corso del **Capitolo 6**.

Nave	Ingombri	N° TEST	DETTAGLIO SUL TIPO DI MANOVRA	VENTO	
				Velocità [kn]	Direzione [°]
Container Ship 334 m	LNG 155m	M01	I - Transito	5	225
Container Ship 334 m	LNG 155m	M02	I - Transito	20	225
Container Ship 334 m	LNG 155m	M03	I	30	225
Container Ship 334 m	LNG 155m	M04	I, con black out	20	225
Container Ship 334 m	LNG 155m	M05	I, con black out	30	225
Container Ship 334 m	LNG 155m	M06	I - Transito, con black out	20	225
Container Ship 334 m	LNG 155m	M07	I - Transito, con black out	20	225
Container Ship 334 m	LNG 155m	M08	U	20	225
LNG 155m	Container Ship 334 m	M09	I	20	225

**Tabella 6-3 Elenco dei test eseguiti con dettaglio ulteriore sulla tipologia di manovra**

Per quanto riguarda la tecnica di manovra di *ingresso*, a partire dal punto iniziale di start delle simulazioni (cfr. **Paragrafo 3.1**), l'esecutore della manovra normalmente regola l'andatura della nave nelle fasi successive della simulazione. In particolare, le manovre di ingresso della *nave portacontainer* si sono svolte con l'ausilio dei due rimorchiatori azimutali da 65 t legati in filo di poppa e di prua, coi cavi inizialmente in bando, effettuando il transito per tutta la lunghezza del porto canale ed effettuando poi l'evoluzione (sulla dritta), sempre con l'ausilio dei rimorchiatori, all'interno del bacino evolutivo prospiciente il terminal container, e proseguendo in marcia avanti verso l'accosto. La manovra di solo *transito* (in ingresso) si è svolta con le stesse modalità sopra descritte, limitatamente al tratto compreso fra il consueto punto di partenza posto esterno all'imboccatura fino ed un punto distante qualche lunghezza nave dalla posizione in cui si trova la gasiera all'ormeggio, senza cioè considerare la manovra di evoluzione e l'arrivo all'accosto presso il Terminal Container.

Nel caso della *nave bulk carrier*, l'unica manovra di ingresso (per completezza) è stata svolta sempre con l'ausilio dei 2 rimorchiatori azimutali da 65 t, effettuando l'entrata e l'evoluzione con le stesse modalità descritte per la nave portacontainer.

L'unica manovra di *uscita* (anch'essa svolta per completezza, in quanto in sé meno problematica e pericolosa degli ingressi) è stata svolta tramite l'uso combinato di macchina e timone, facendo partire la simulazione quando la nave si trova ferma all'accosto, assistita dai 2 rimorchiatori e avendo il thruster in funzione.

In tutti i casi, ovvero sia in manovra di ingresso che di transito che di uscita, la traiettoria della nave è stata controllata man mano sia tramite l'ausilio dei rimorchiatori che con l'uso del bow thruster. Come riportato anche in **Tabella 6-3** sono state svolte manovre di ingresso o solo transito (in ingresso) anche in condizioni di emergenza, ovvero simulando l'improvviso black out delle macchine e/o la rottura del cavo di uno dei rimorchiatori.

Per quanto riguarda il giudizio sulla fattibilità delle manovre testate al simulatore sulla nave portacontainer in "condizioni standard" (senza black out o avarie), le simulazioni di manovra, per quanto riguarda le manovre di *ingresso* o solo *transito*, sono state ritenute concluse con esito positivo relativamente agli scopi dello studio ("*manovra riuscita*") nel momento in cui il Pilota ha ritenuto che la posizione della nave al passaggio di fronte alla banchina in cui si trova la nave gasiera è in sicurezza e la sua dinamica è totalmente sotto controllo da parte delle macchine di bordo e dei rimorchiatori. Allo stesso modo, per quanto riguarda la manovre di *uscita*, essa è stata ritenuta conclusa positivamente quando la traiettoria della nave è tale da poterla ritenere non problematica dal punto di vista del passaggio di fronte alla nave gasiera all'ormeggio, essendo poi la nave libera di navigare fuori dal Porto e proseguire, da lì, in acque cosiddette sicure.

Per quanto riguarda il giudizio sulla fattibilità delle manovre testate al simulatore sulla nave portacontainer in "condizioni di emergenza" (con black out e avarie), la manovra è stata giudicata come "*riuscita*" nel momento in cui la traiettoria e la dinamica residuale della nave al passaggio di fronte alla banchina in cui si trova la nave gasiera avviene senza il rischio di collisioni e ad una sufficiente distanza di sicurezza.

Di seguito, in **Tabella 6-4**, vengono presentati, manovra per manovra, il dettaglio delle condizioni meteomarine associate a ciascun test, il tipo della manovra (I= ingresso e U=uscita, con eventuali indicazioni in caso di manovra di solo transito e/o di emergenza per black out o altre avarie), l'unità in simulazione (portacontainer oppure gasiera), l'accosto interessato, gli ingombri presenti e il numero e le caratteristiche dei rimorchiatori eventualmente utilizzati, nonché l'esito commentato, in estrema sintesi, di queste prove preliminari.

L'indicazione dell'utilizzo dei rimorchiatori si intende considerandoli legati rispettivamente a poppa ed a prua.

ESITO DELLE MANOVRE ESEGUITE AL SIMULATORE - PORTO CANALE DI CAGLIARI -								
ID PROVA	NAVE	INGOMBRI	VENTO		TIPO MANOVRA	ACCOSTO	TUGS	ESITO AL SIMULATORE
			Dir.	Vel.				
			[°N]	[kn]				
<b>M01</b>	Container Ship 334 m	LNG 155m	225	5	I - Transito	//	2 x 65 t	Manovra riuscita
<b>M02</b>	Container Ship 334 m	LNG 155m	225	20	I - Transito	//	2 x 65 t	Manovra riuscita
<b>M03</b>	Container Ship 334 m	LNG 155m	225	30	I	Terminal Container	2 x 65 t	Manovra riuscita al limite
<b>M04</b>	Container Ship 334 m	LNG 155m	225	20	I - con black out	Terminal Container	2 x 65 t	Manovra riuscita
<b>M05</b>	Container Ship 334 m	LNG 155m	225	30	I - con black out	Terminal Container	2 x 65 t	Manovra riuscita al limite
<b>M06</b>	Container Ship 334 m	LNG 155m	225	20	I - transito con black out	//	2 x 65 t	Manovra NON riuscita (incaglio nel basso fondale)
<b>M07</b>	Container Ship 334 m	LNG 155m	225	20	I - transito con black out	//	2 x 65 t	Manovra riuscita
<b>M08</b>	Container Ship 334 m	LNG 155m	225	20	U	Terminal Container	2 x 65 t	Manovra riuscita
<b>M09</b>	LNG 155m	Container Ship 334 m	225	20	I	Terminal LNG	2 x 65 t	Manovra riuscita

**Tabella 6-4 Prove del 20-21/09/2018 – esito e commenti**

Per un dettaglio maggiore relativamente all'esito commentato delle manovre riportate in **Tabella 6-4**, si rimanda al seguente paragrafo (§6.2).

## 6.2 Note sull'esito delle manovre eseguite al simulatore

Per l'analisi particolareggiata di ciascuna traiettoria e della tecnica di manovra adottata, si rimanda agli **ALLEGATI** forniti assieme al presente rapporto tecnico (postprocessing avanzato dei risultati, dove in particolare sono stati inclusi *i filmati delle manovre ed i file delle storie temporali di tutte le grandezze simulate*, es. uso azipod e thrusters, forza esercitata dal vento, velocità della nave, ecc. ecc.).

Nel seguito vengono riportati, a scopo esplicativo per quanto riguarda i risultati già presentati in estrema sintesi in **Tabella 6-4**, le note prese sotto forma di appunti durante l'esecuzione delle simulazioni.

### 1. M01 - ship 334 m, SW 5 kn, mare assente, 2 tugs x 65 t, LNG in ingombro

*Manovra test con condizioni favorevoli, per presa confidenza col simulatore. Partenza da fuori.*

*La nave si presenta all'imboccatura con i rimorchiatori legati in bando, in filo di prua e di poppa, ed è già stata abbrivata a circa 5 kn. Il vento, di intensità lieve, è al traverso di SN. Il transito di fronte alla LNG all'ormeggio avviene senza particolari problemi. Il rimorchiatore di prua viene messo a 45°. Il Pilota commenta che però NON si tratta di una condizione realistica, e lo si ferma. Viene invece verificato cosa succede se si decide di utilizzare il rimorchiatore di poppa per provare a frenare la nave. Viene messo il tug di poppa a 45°, poi dritto di poppa, e nuovamente a spring (sempre sul lato di SN), viene cioè utilizzato come ausilio al timone.*

*In una lunghezza nave e mezzo la velocità si è ridotta a circa 3 kn. A questo punto il tug di prua potrebbe realisticamente intervenire in ausilio, viene quindi attivato e messo a tirare a spring a sinistra. In queste condizioni è possibile anche utilizzare il bow thruster, che però non viene utilizzato, la nave infatti reagisce normalmente evoluendo a sinistra. Manovra interrotta.*

*Manovra RIUSCITA*

### 2. M02 - ship 334 m, SW 20 kn, mare assente, 2 tugs x 65 t, LNG in ingombro

*Ripetizione manovra con condizioni di vento più intenso (20 kn). I rimorchiatori vengono legati col cavo in bando non appena la nave entra nell'imboccatura. La nave ha una velocità di circa 6.3 kn, che aumenta leggermente man mano che si transita nel canale dragato (a -16 m) fino a 7 kn.*

*A Cagliari NON hanno esperienza di governo della nave col tug di poppa. Quindi viene provata la diminuzione di velocità per testare la governabilità della nave. Viene quindi posizionato il tug di poppa a spring sul lato di SN e si verifica il transito lavorando con i rimorchiatori. All'ingresso del porto canale la velocità è già diminuita a 5 kn. Il tug di poppa, come nella M01, viene posizionato alternativamente al centro e a spring, come a "timonare" la poppa della nave.*

*In prossimità della nave all'ormeggio la velocità della nave è diminuita a 3.70 kn ca. In questo punto entrambi i rimorchiatori vengono posizionati circa al traverso di SN per mantenere la nave in posizione il più possibile al centro della nave.*



Con nave a 3.5 kn di velocità, e due rimorchiatori al traverso, la nave è mantenuta in equilibrio.

Viene diminuita l'intensità del tiro del rimorchio di prua per aiutare la prua a risalire. Bisogna verificare cosa succederà con altre condizioni meteo, quando la nave effettua il passaggio ancora 5 kn di abbrivio.

Viene arrestata la nave con l'ausilio dei rimorchiatori ( $V_f =$  ca 1.7 kn).

La manovra viene quindi interrotta.

Manovra RIUSCITA

### 3. M03 - ship 334 m, SW 30 kn, mare assente, 2 tugs x 65 t, LNG in ingombro

Manovra viene impostata con velocità nave pari a 9 kn. Vengono legati i rimorchiatori in filo di prua e poppa, non appena la nave supera l'imboccatura. La nave viene rallentata mettendo la macchina leggermente AD e scontrando il timone a sinistra per contrastare il vento al traverso.

Anche nella realtà il Pilota commenta che non vi è ridosso dal vento, e che la nave si trova realisticamente col fianco sinistro esposto all'azione del vento da SW.

All'ingresso del porto canale la poppa inizia a scadere verso dritta, si utilizza quindi l'azione del rimorchio di poppa, per breve tempo, in quanto già sufficiente a ripristinare la traiettoria ottimale. Intanto la velocità è diminuita a 6.4 kn. Nuovamente si utilizza il rimorchiatore al 75% di potenza, messo a spring di poppa a sinistra, quando la nave si trova a circa 1 lunghezza di scafo dal punto prospiciente l'accosto della LNG. La velocità della nave è di circa 5.5 kn.

La valutazione dello squat medio al passaggio è di circa 20 cm, mentre la nave ha superato la nave all'accosto e ha circa 4 kn di velocità. I rimorchiatori sono posizionati entrambi a spring, ma la nave scarroccia verso la banchina. Viene quindi utilizzato il solo rimorchiatore di prua messo al traverso assieme al bow thruster a SN. Successivamente si aggiunge anche il rimorchiatore di poppa al traverso.

La velocità è bassa, di circa 5 kn, tuttavia se vi fossero navi ormeggiate al terminal container vi sarebbe il pericolo di urto (c'è circa 1 larghezza di scafo e mezzo di distanza dalla banchina).

In ogni caso la nave risale e prosegue, abbastanza in asse rispetto alla mezzeria del canale dragato, verso il bacino di evoluzione.

La manovra prosegue. Viene dato un colpo di MAV, viene fermato il tug di poppa e utilizzato il tiro di quello di prua a girare verso SN, e macchina ferma. La nave inizia a evolvere sulla DR, a questo punto il timone viene scontrato sulla DR e la nave, senza l'ausilio dei tug che sono riposizionati in filo, evoluisce al vento. In seguito si utilizzano nuovamente il rimorchiatore di prua al traverso di SN e la macchina AV, infine quando la nave si trova al centro del bacino di evoluzione si posizionano i tugs al traverso di prua (a DR) e di poppa (a SN) per aiutare l'evoluzione e si dà macchina tutta AD.

La manovra di evoluzione viene impostata riuscendo a posizionare la nave nel centro del bacino evolutivo (che ha un diametro di 560 m) e si conclude con la nave in posizione pronta a dirigersi verso l'accosto (manovra interrotta prima).

Manovra RIUSCITA AL LIMITE

#### Commento:

Il Pilota, che ha voluto testare la tecnica di manovra in presenza di vento molto forte, ritiene che il comportamento della nave è realistico.

*Relativamente al passaggio di fronte alla nave ormeggiata, il Com.te Lettich commenta che ipoteticamente si potrebbe scendere ancora a 4.5 kn intervenendo prima con i rimorchiatori. Il Pilota vorrebbe provare anche un passaggio con la nave più leggera (eventuale preparazione per test aggiuntivi successivi)*

#### **4. M04 - ship 334 m, SW 20 kn, mare assente, 2 tugs x 65 t, LNG in ingombro – BLACK OUT\***

**\*Prima ipotesi:** black out avviene quando la prua sfiora l'isobata -17 m (che si trova circa a metà del canale dragato fuori dal porto canale)

*Come M02, ma con black out. Nave approccia all'ingresso con  $V_s = 5.0$  kn e con la stessa tecnica di manovra finora adottata (tugs legati in filo di poppa e prua, uso combinato di macchina e timone). Al  $t=06.05$  si ipotizza il black out, per cui si può disporre solo di ancore e rimorchiatori.*

*A questo punto in una situazione del genere il Comandante cercherebbe di portare la nave all'ormeggio.*

*Viene posizionato il tug di poppa al traverso di DR a tirare per mantenere la nave in asse. In seguito vengono posizionati entrambi i tugs a spring sulla SN nave, facendo prevalere quello di prua. In prossimità del passaggio di fronte all'ormeggio vengono entrambi riportati in filo e agisce solo il tug di poppa che tira al traverso/a spring di SN, mentre la nave ha  $V_s = 4.3$  kn. La nave supera l'ingombro con velocità di circa 3.7 kn, è posizionata in sicurezza nel centro del canale dragato. La manovra prosegue, il passaggio di fronte alla LNG avviene in sicurezza. La nave viene portata al primo ormeggio libero sulla banchina, con prua in AV senza andare a girare.*

*Manovra RIUSCITA*

##### **Commento:**

*L'AP vorrebbe provare il black out in una posizione ancora più arretrata verso l'imboccatura.*

*Il Com.te Lettich aggiunge che, per la sua esperienza, vi possono essere 3 tipologie principali di avarie:*

- 1) motore
- 2) timone
- 3) rottura cavi rimorchiatore

*Ovviamente l'esito della manovra in questi casi è fortemente dipendente, a parità di condimeteo, dal punto in cui avviene l'avaria.*

#### **5. M05 - ship 334 m, SW 30 kn, mare assente, 2 tugs x 65 t x 65 t, LNG in ingombro – BLACK OUT\***

**\*Seconda ipotesi:** black out chiamato all'improvviso (in questo caso avviene quando la prua è a circa 1 lunghezza scafo dall'ingresso nel porto canale)

*Come M03, ma **con black out**. Nave approccia all'ingresso con  $V_s = 5.0$  kn e con la stessa tecnica di manovra finora adottata (tugs legati in filo di poppa e prua, uso combinato di macchina e timone). Al  $t=04.43$  si ipotizza il black out, per cui si può disporre solo di ancore e rimorchiatori.*



Analogamente alla M04 si utilizzano i rimorchiatori a spring sulla SN, per mantenere la nave in asse e sostenere la nave sottoposta all'azione del vento al traverso. Il passaggio nei pressi dell'accosto avviene ad una velocità di circa 5 kn, con nave posizionata in sicurezza al centro del canale dragato, pressoché in equilibrio. Siccome la poppa inizia a scendere si riposizionano i tugs, a prua sulla DR e a poppa circa in filo, solo leggermente a tirare a DR, poi ruotato sulla parte opposta. Nel mentre la velocità è sotto i 4 kn, e la nave passa a circa 30 m dal dente di accosto del Terminal, coi rimorchiatori nuovamente posizionati al traverso di sinistra. In seguito la nave si avvicina all'accosto, sempre con l'ausilio dei rimorchiatori.

Manovra RIUSCITA

**Commento:**

Si tratta di condizioni estreme, nel caso di SE ovvero Scirocco verrebbe meglio affiancarsi sulla sinistra, ma non lo proviamo in quanto ci concentriamo sul vento al traverso per ipotesi più conservativa. Ovviamente nella realtà, visto che neppure le gru lavorerebbero al terminal container, i Piloti consigliano che la nave non entri neppure. La manovra è teoricamente fattibile fino a 30 kn (35 kn già da scartare) ma va valutata da caso a caso rispetto alla tipologia di nave e al suo pescaggio.

La CP rileva che questa manovra infatti con un problema ai rimorchiatori determinerebbe una collisione certa. Si discute pertanto la possibilità di prevedere, in questi casi, un terzo rimorchiatore, che andrebbe però preventivamente allertato.

**6. M06 - ship 334 m, SW 20 kn, mare assente, 2 tugs x 65 t x 65 t, LNG in ingombro – doppio BLACK OUT\***

\***Terza ipotesi:** black out chiamato all'improvviso (in questo caso avviene un black out macchine quando la prua è in prossimità dell'imboccatura del porto canale, e un secondo black out con rottura cavo di uno dei due rimorchiatori, quello di poppa)

Come M02, ma **con black out**, ed in questo caso "doppio", ovvero sia delle macchine che del cavo del rimorchiatore. Nave approccia all'ingresso con  $V_s = 5.0$  kn e con la stessa tecnica di manovra finora adottata (tugs legati in filo di poppa e prua, uso combinato di macchina e timone). Al  $t = 07'45''$  si ipotizza il primo black out, per cui si può disporre solo di ancore e rimorchiatori, con la nave a circa 5.6 kn.

Al  $t = 08'37''$  si ipotizza il secondo black out, ovvero la rottura del cavo del tug di poppa (ancora era non utilizzato, da questo momento non si potrà più usare). La nave si presenta quindi all'imboccatura, sotto la sola azione del tug di prua, che si guarda a DR e SN per agevolare il mantenimento della traiettoria.

La nave ruota al vento e la poppa sale, viene quindi adoperato il tug di prua a tutta al traverso di dritta per fare risalire la prua, la velocità è 4.6 kn.

La manovra si è conclusa con un incaglio nel basso fondale ( $DBS = 14.6$  m con squat di ca 23 cm), prima del raggiungimento della banchina.

Manovra NON RIUSCITA

## 7. M07 - ship 334 m, SW 20 kn, mare assente, 2 tugs x 65 t x 65 t, LNG in ingombro – I, doppio BLACK OUT\*

\***Terza ipotesi:** black out chiamato all'improvviso (in questo caso avviene un black out macchine quando la prua è in prossimità dell'imboccatura del porto canale, e un secondo black out con rottura cavo di uno dei due rimorchiatori, quello di poppa)

*Ripetizione della M06, con black out "doppio", ovvero sia delle macchine che del cavo del rimorchiatore. La velocità della nave all'imboccatura è di ca 5 kn. In questo test:*

- *t (black out)= 08'30"*
- *t (rottura cavo tug poppa)= 10'51"*

*Analogamente a prima la nave ruota con la prua a SN, facendo risalire la poppa, e di conseguenza viene adoperato il tug di prua ad agguantare sulla DR. La secca incontrata nella manovra precedente viene superata, sempre tramite l'ausilio del solo rimorchiatore che lavora al traverso.*

*Il passaggio nei pressi della gasiera avviene a 4 kn di velocità, in sicurezza ad un distanza di ca 3 larghezze nave.*

*Manovra RIUSCITA*

### **Commento:**

*In condizioni normali, con i 2 rimorchiatori il Comandante (cfr. M04) si dirigerebbe all'accosto sicuro più vicino, sempre decidendo di superare l'ingombro costituito dalla LNG.*

## 8. M08 - ship 334 m, SW 20 kn, mare assente, 2 tugs x 65 t x 65 t, LNG in ingombro - USCITA

*Viene provata una manovra di uscita in condizioni di vento al traverso da 20 kn, utilizzando i 2 rimorchiatori da 65 t in ausilio, e l'uso combinato di macchina e timoni. La nave si stacca dalla banchina senza particolari problemi, e inizia il percorso in uscita nel porto canale a circa 4 kn di velocità. (Generalmente l'uscita è per 135°-136° N)*

- *t (black out) = 07'48" a ca 1 L nave dalla LNG, ma thruster in funzione, bloccato a DR*
- *t (rottura cavo tug prua)=08'49", già quasi di fronte alla nave LNG*

*La nave ha circa 4.5 kn di velocità, che per il passaggio di fronte alla LNG è sufficiente per affermare che non ci sia più pericolo, tuttavia nella realtà resterebbe il problema di come uscire dal porto col solo tug di poppa in ausilio.*

*La manovra viene continuata, e la nave riesce a uscire dal porto canale in sicurezza, presentandosi all'imboccatura con una velocità di circa 3.65 kn. Si verifica quindi la possibilità di uscire anche in queste condizioni di avaria.*

*Manovra RIUSCITA*

## 9. M09 – LNG 155 m, SW 20 kn, mare assente, 2 tugs x 65 t, NESSUN ingombro – INGRESSO

*Come da richiesta del Ministero, viene testato un ingresso della nave LNG con vento al traverso e due rimorchiatori in ausilio. La velocità iniziale della nave è stata impostata a 10*

*kn. La manovra verrà impostata per sicurezza con evoluzione nel bacino interno, pur essendoci la possibilità, date le dimensioni, di effettuare la girata di fronte all'accosto.*

*I rimorchiatori sono posti in filo di poppa e di prua. Il transito nel porto canale viene effettuato mantenendo la velocità a 10 kn, per questioni di tempo, in realtà sarebbe più lenta.*

*La nave viene portata al bacino evolutivo interno al porto canale con una velocità di circa 4.7 kn, lavorando prevalentemente con la macchina e timone.*

*Si noti che questa unità è più manovriera dell'unità porta container, non solo per le ridotte dimensioni, ma anche per l'allestimento dell'apparato di propulsione principale che prevede l'installazione di una elica a passo variabile.*

*Arrivati in prossimità della fine del terminal container, a nave ferma, viene utilizzato il tug di prua a tirare al traverso di DR, in opposizione a quello di poppa al traverso di SN, in modo da agevolare l'evoluzione sulla DR nave. Sempre con l'uso combinato di macchine e timone, con il solo rimorchio di prua in funzione nella fase evolutiva finale, la nave viene ruotata di 180° e riporta l'asse verso l'uscita del porto canale, che ripercorre a ritroso. Sono trascorsi circa 20 minuti dall'inizio del test.*

*Arrivati in prossimità dell'accosto, il tug di poppa viene messo a spring a SN, e quello di prua al traverso di SN. Anche il thruster viene attivato a SN per qualche istante per cercare di recuperare l'asse del canale. La manovra prosegue, sempre con l'ausilio di entrambi i rimorchiatori. Ad un certo punto, quando la nave è ormai prospiciente all'accosto, si evidenzia la necessità, da parte del tug di poppa, di accorciare il cavo per poter sfilare dal dente di accosto.*

*Nelle fasi finali, i rimorchiatori sono entrambi al traverso di DR, per mantenere la nave in equilibrio al vento al traverso. La manovra si conclude con nave pressoché ferma in corrispondenza dell'accosto, pronta per essere assicurata tramite i cavi di ormeggio.*

*Manovra RIUSCITA*

### **Commenti**

*Per sicurezza, non conoscendo il tiro massimo delle bitte di bordo della nave LNG, il tiro dei rimorchiatori è stato fissato al massimo al 75%.*

### 6.3 Presentazione dei file dei risultati delle simulazioni

I risultati completi delle simulazioni eseguite sono stati resi disponibili al Cliente in formato elettronico (v. **ALLEGATI** per elenco completo). Essi sono stati elaborati in particolare sotto forma di: immagini delle traiettorie, sia dell'intera manovra che ingrandite per la sola parte svoltasi nello specchio portuale; video di ogni test così come visualizzato sulla plancia 2D del SAND; storie temporali di tutte le grandezze simulate.

Tutte le traiettorie delle manovre eseguite al simulatore vengono presentate anche in questo documento in **APPENDICE A**, nelle varie condizioni meteomarine considerate (cfr. Tabella 5-1 , **Tabella 6-1 e Tabella 6-2**)

In generale su ogni immagine viene rappresentata la traiettoria seguita dalla nave durante la simulazione tramite la stampa ad intervalli di tempo regolari (60 s) della silhouette della nave, consentendo così di ricavare immediate informazioni circa la rotta seguita dalla stessa.

In sintesi, oltre alla traiettoria, su tali immagini sono quindi indicati (secondo le indicazioni riportate nel **Paragrafo 3.1**):

- il Nord geografico, con sotto l'indicazione del tempo totale di svolgimento della manovra (n.b. contatore attivo solo nei video, v. **ALLEGATI**);
- il layout portuale (in **grigio**) con la rappresentazione delle batimetriche (in **blu scuro**);
- la silhouette degli ingombri presenti nell'area di manovra (in **rosa**, la nave all'accosto presso il nuovo terminal LNG, avente dimensioni LOA x B= 155.0 m x 22.7 m)
- l'indicazione della direzione di provenienza del vento (bandiera in **blu**);
- la silhouette della nave (in **nero**; eventualmente in **rosso** in caso di urto).

L'**APPENDICE B** contiene infine una serie di fotografie che documentano alcuni momenti dello svolgimento delle simulazioni.

## 7 CONCLUSIONI

Questo studio al simulatore di manovra real-time in ambientazione 3D ha esaminato le simulazioni di manovra in tempo reale svoltesi nei giorni 20 e 21 settembre 2018 nello scenario del Porto canale di Cagliari per conto di SARDINIA LNG srl. Lo scopo del lavoro consiste nell'indagine sulle possibili interferenze tra le navi portacontainer che normalmente transitano nel porto canale e una nave gasiera considerata all'ormeggio presso il Terminal LNG attualmente in progetto nei pressi dell'imboccatura.

I test al simulatore di manovra in tempo reale si sono svolti principalmente simulando il transito di una grande unità portacontainer nel tratto di porto Canale interessato dalla nave LNG all'ormeggio, in particolare valutando la velocità e la governabilità dell'unità in movimento nei pressi dell'ingombro costituito dalla nave ormeggiata. E' stata eseguita anche una manovra sulla nave LNG simulandone l'ingresso in porto e la manovra di accosto al Terminal LNG.

I test sono stati svolti avvalendosi del pilotaggio di Piloti professionisti, ovvero del Capo dei Piloti del Porto di Cagliari e di un esperto esecutore messo a disposizione da CETENA S.p.A, ex-capo dei Piloti del Porto di Genova, che lo ha coadiuvato ai comandi della plancia del simulatore.

In totale sono state svolte 7 manovre di ingresso (inteso come transito ed eventuale accosto a banchina presso il Terminal Container) ed 1 di uscita (disormeggio dall'accosto presso il Terminal Container e transito, superando l'ingombro della gasiera all'ormeggio, verso l'imboccatura del porto canale).

Le manovre svolte nel corso delle due giornate sono state così suddivise:

<b>TIPOLOGIA DI NAVE</b>	<b>INGRESSO</b> (transito ed eventuale accosto)	<b>USCITA</b>	<b>Totale per nave</b>
Container Ship 334 m	7	1	8
LNG Carrier 155 m	1	0	1
<b>TOTALE per manovra</b>	<b>8</b>	<b>1</b>	<b>9</b>

- i. sessione del 20/09/2018: 2 test sulla nave portacontainer
- ii. sessione del 21/09/2018: 6 test sulla nave portacontainer e 1 test sulla nave LNG

La nave portacontainer presa in considerazione per le simulazioni ha una lunghezza fuori tutto di 334.0 m, è larga 42.8 m ed ha un pescaggio di 14.5 m, è dotata di un apparato di propulsione tradizionale (monoelica a passo fisso, 1 timone) ed inoltre di 1 bow thruster per la propulsione

ausiliaria. Per quanto riguarda la nave gasiera, l'unità presa in considerazione è anch'essa a propulsione tradizionale, monoelica, ma in questo caso con pale orientabili; ha una lunghezza fuori tutto di 155.0m, è larga 22.7 m ed ha un pescaggio di 6.7 m, è dotata anch'essa di 1 bow thruster.

In particolare, nel corso dello studio è stata valutata attentamente la fattibilità del transito in sicurezza, in relazione alla gasiera presente in accosto al Terminal LNG, da parte della nave portacontainer in manovra, sempre assistita da rimorchiatori, al variare delle condizioni meteomarine e simulando improvvise avarie (black out delle macchine con conseguente impossibilità nell'utilizzo di timone o thrusters, e rottura dei cavi di rimorchio). Nei test sono stati considerati scenari relativi a condizioni meteomarine comprendenti l'azione da parte del vento da SW (essendo in questo caso l'azione del mare trascurabile). In particolare, in accordo col Cliente e i Piloti, è stato considerato infatti *vento* proveniente dal III quadrante (SW) di intensità variabile tra i 5, 20 e 30 nodi di velocità. Durante le manovre sono stati presi in considerazione i rimorchiatori ad oggi in servizio presso il Porto di Cagliari, ovvero 2 rimorchiatori azimutali da 65 t di tiro massimo, legati a poppa e a prua dell'unità simulata.

Di seguito vengono riportati i risultati ottenuti al termine delle giornate di lavoro al simulatore suddette.

Per quanto riguarda l'unità **porta container** al simulatore è stato verificato che:

- *in manovra di transito* di fronte alla nave gasiera ormeggiata al terminal LNG, in condizioni di vento proveniente da SW di intensità non superiore ai 20 kn, al simulatore il passaggio è risultato fattibile in sicurezza ad una velocità di circa 3-3.5 kn, con l'ausilio di due rimorchiatori da 65 t in assistenza;
- la manovra di *ingresso in condizioni di vento da SW pari 30 kn* di intensità (svolta sempre in presenza di rimorchiatori) non è risultata avere un sufficiente grado di sicurezza e sono da considerarsi manovre al limite della fattibilità. Dal punto di vista del passaggio in prossimità della nave gasiera all'ormeggio, esso avviene a circa 4 kn di velocità;
- le manovre di ingresso con solo transito svolte in caso di *improvviso black out*, svolte per valutare la risposta della nave e la manovrabilità della stessa in caso di avarie (motori, timone e cavi dei rimorchiatori), non hanno evidenziato il rischio di collisione nei confronti dell'ingombro della nave gasiera. In particolare in un test, considerando un doppio black out ovvero dapprima il mancato funzionamento dei motori (e del timone) quando la prua della nave è arrivata in prossimità della diga, e successivamente la rottura del cavo del rimorchiatore di poppa presso l'imboccatura del porto canale, la nave portacontainer si è

incagliata nel basso fondale, prima ancora di raggiungere l'area prospiciente l'accosto della gasiera;

- analogamente, il passaggio della nave durante la manovra di uscita *in condizioni di vento da SW pari 20 kn* di intensità, considerando black out iniziale delle macchine (avvenuto a circa 1 lunghezza nave di distanza dall'ingombro della LNG), e successiva rottura del cavo del rimorchiatore di prua (in prossimità della gasiera), è avvenuto a distanza di sicurezza dall'ingombro.

E' importante rilevare che i risultati dei suddetti test effettuati in caso di avaria sono comunque da considerarsi rappresentativi della situazione particolare analizzata al simulatore, e non possono essere generalizzati, in quanto sono fortemente dipendenti dal punto in cui avviene l'avaria, oltre che dalle caratteristiche dell'unità in simulazione e delle condizioni meteomarine analizzate.

Per quanto riguarda infine l'unità **gasiera** al simulatore nel corso della suddetta sessione è stato altresì verificato che:

- la *manovra di ingresso* in condizioni di vento proveniente da SW di intensità pari ai 20 kn è risultata fattibile in sicurezza. In particolare è da rilevare che, in relazione alle dimensioni di questa unità, la taglia dei 2 rimorchiatori in ausilio potrebbe essere anche inferiore rispetto a quelli da 65 t di bollard pull considerati nello studio.

**In sintesi, a seguito delle prove eseguite al simulatore di manovra si può concludere che:**

- a) per quanto riguarda il passaggio della nave portacontainer, testato in condizioni di vento al traverso proveniente da Libeccio (quale vincolo peggiorativo) fino a 30 kn di intensità, non sono state rilevate interferenze con l'ingombro costituito dalla nave gasiera all'ormeggio sul Terminal LNG. Nella realtà, la fattibilità delle manovre in sicurezza può essere data certamente in presenza di vento al traverso fino a 20 kn di intensità. Per venti più forti la manovra di ingresso da parte della nave portacontainer andrebbe valutata da caso a caso, ipotizzando eventualmente anche un periodo di attesa in rada fuori dal porto: in ogni caso, a giudizio del Pilota, si potrebbe ipotizzare in generale la fattibilità del transito anche fino ai 30 kn di intensità del vento, in quanto l'ausilio di rimorchiatori, la presenza di parabordi in banchina ed il mantenimento di una velocità adeguata (e bassa) sono tutti fattori che concorrono a dare un giudizio positivo.
- b) per quanto riguarda la nave gasiera, non sono state evidenziate criticità nella manovra di ingresso eseguita, come prevedibile in quanto è stato considerato il layout di un porto attualmente già operativo.



Infine, nel caso delle manovre svolte in condizioni di emergenza (es. black out), si può concludere che le indicazioni del simulatore, limitatamente agli scenari considerati nei test, sono state positive, in quanto i test *non* hanno evidenziato criticità nel passaggio da parte dell'unità portacontainer nei pressi dell'accosto della nave gasiera all'ormeggio. Tuttavia va altresì rilevato che con i dati raccolti nello studio non è possibile prevedere con certezza cosa succederebbe in condizioni di emergenza ancora più gravose, come ad esempio in caso di più avarie contestuali o di un repentino cambiamento delle condimeteo.

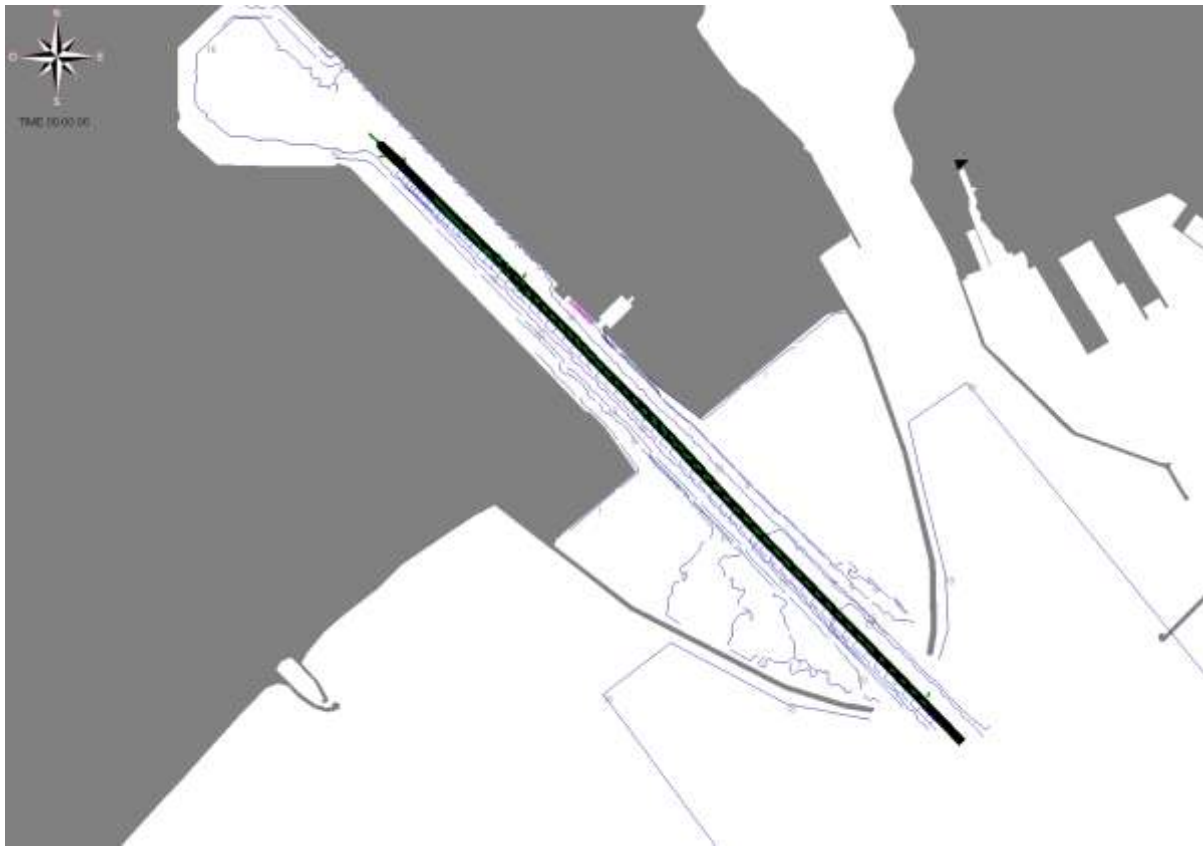


## 8 RIFERIMENTI

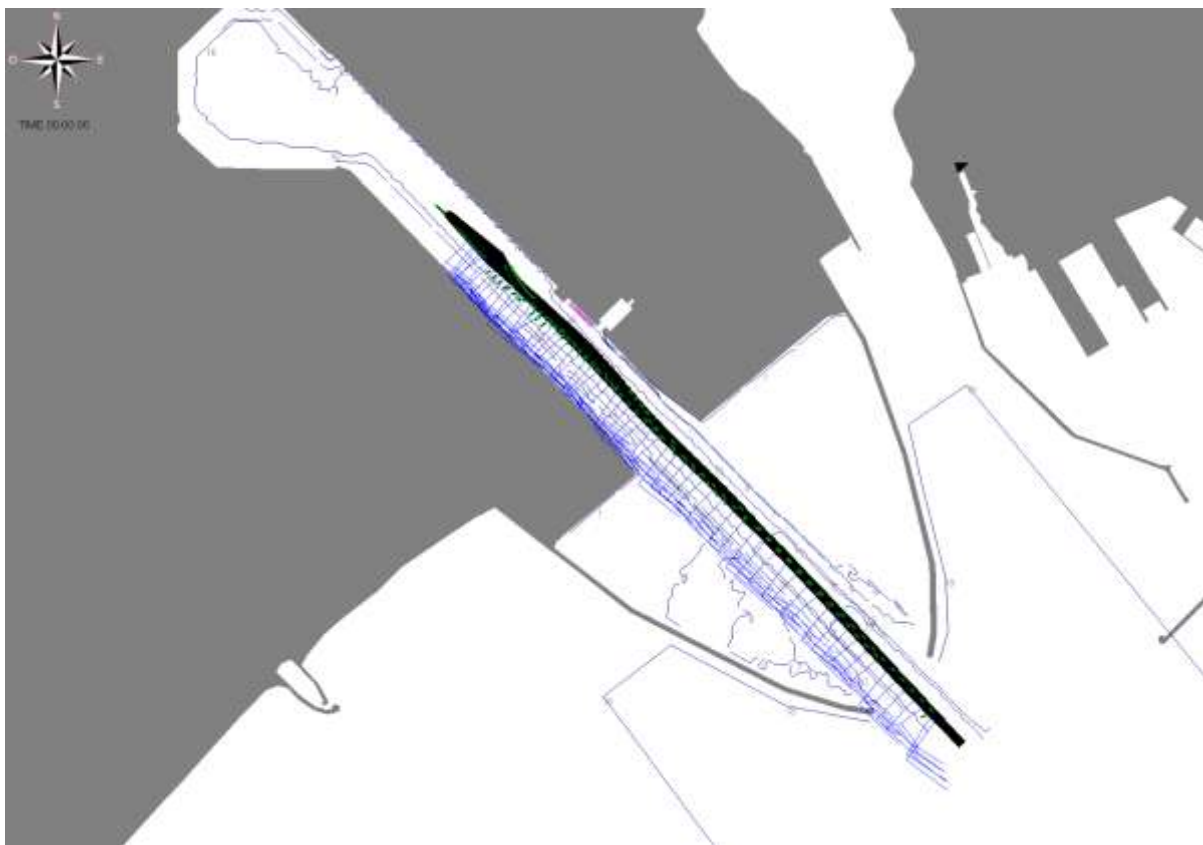
- Rif. 1 Sito web <http://www.va.minambiente.it/it-IT/Oggetti/Info/1671>
- Rif. 2 Prot. n°5230 del 08/02/2018, Capitaneria di Porto di Cagliari
- Rif. 3 Prot. n°11441 del 13/06/2018, Autorità di Sistema Portuale del Mare di Sardegna
- Rif. 4 C. Notaro, M. Peverero, D. Tozzi, A. Zini  
'Il modello matematico del simulatore SAND: esempio di configurazione di una nave militare'  
Rapporto CETENA n° 10178, Genova, Settembre 2008
- Rif. 5 Disegni del layout portuale di progetto  
"Inquadramento area portuale.dwg" e "Tav.S7e.dwg"  
Fonte: Cliente
- Rif. 6 Disegno della batimetria portuale di progetto  
"Isobate rev 01.dwg"  
Fonte: Cliente
- Rif. 7 Caratteristiche principali della nave gasiera in studio  
"coral\_energy.pdf"  
Fonte: Cliente

## **APPENDICE A**

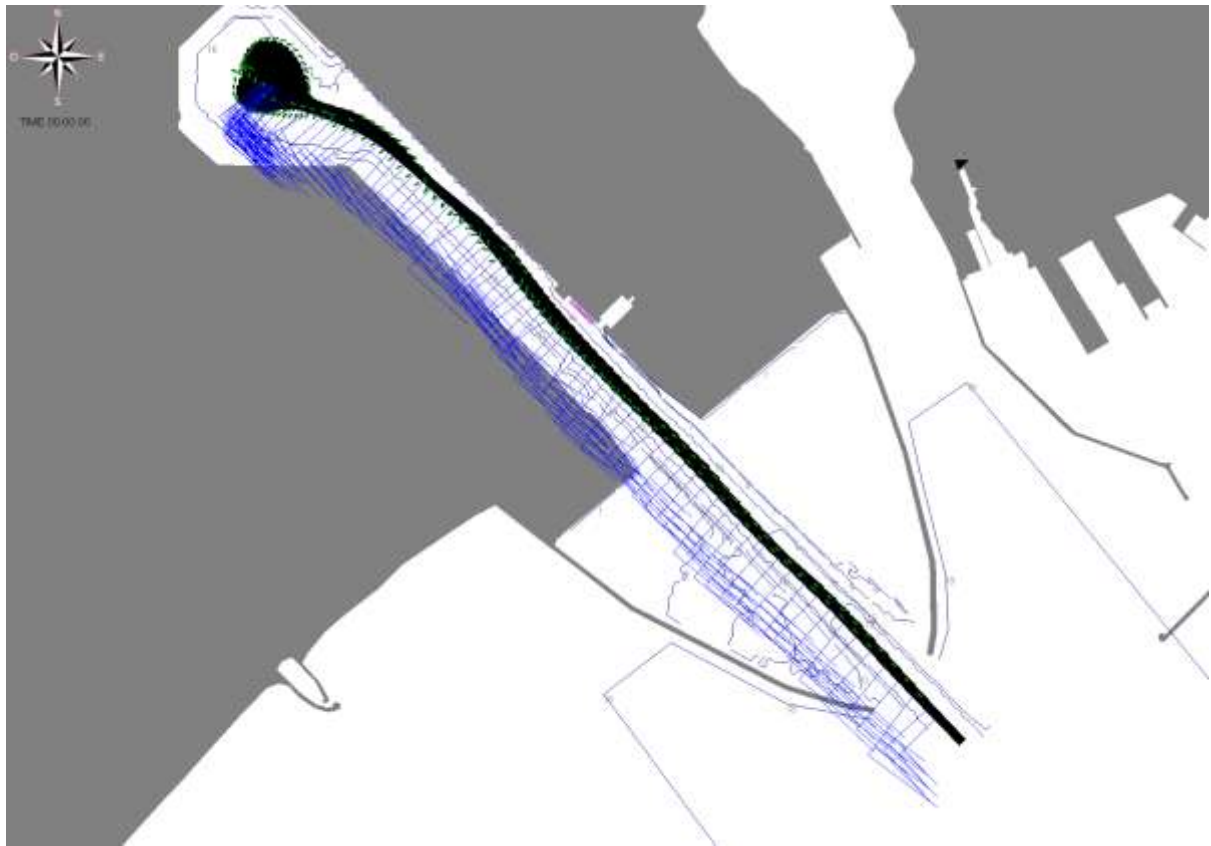
### **TRACCIATI DELLE MANOVRE**



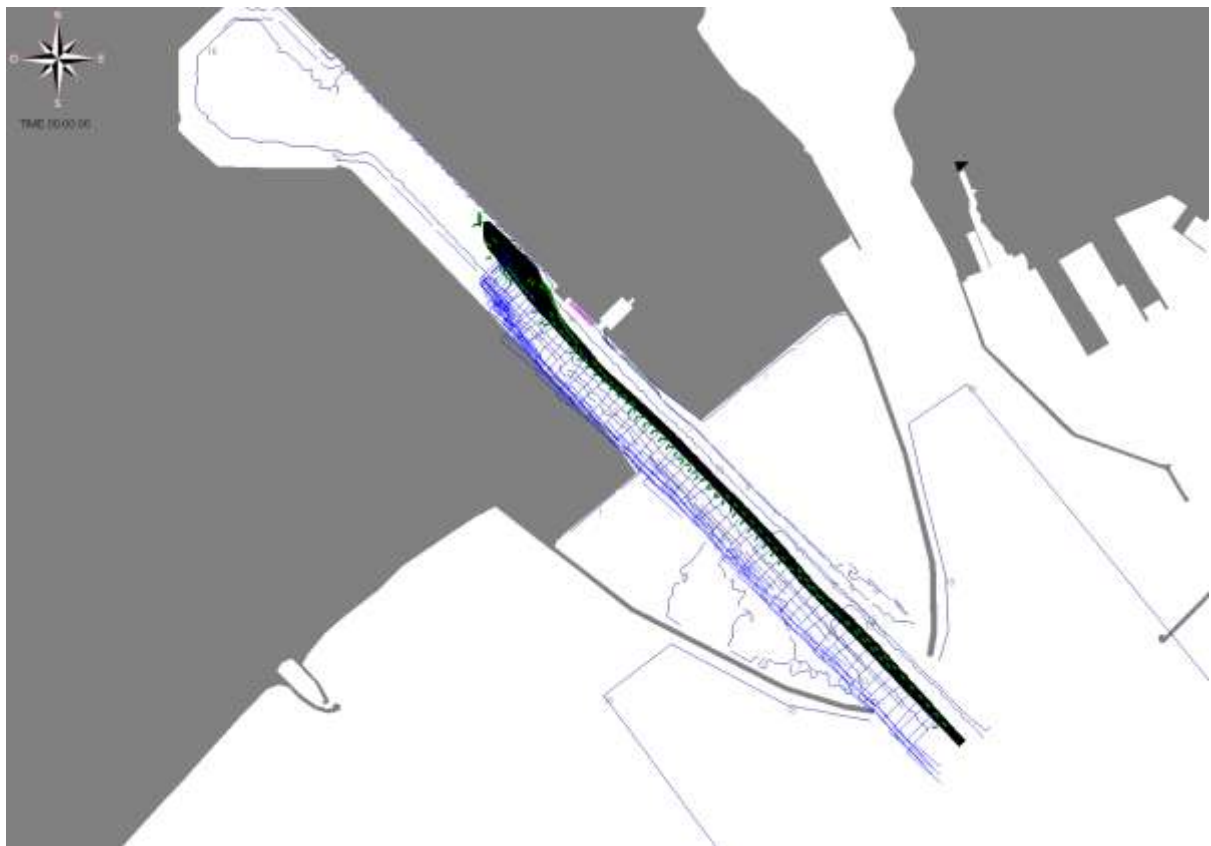
**Fig. 1 - M01**



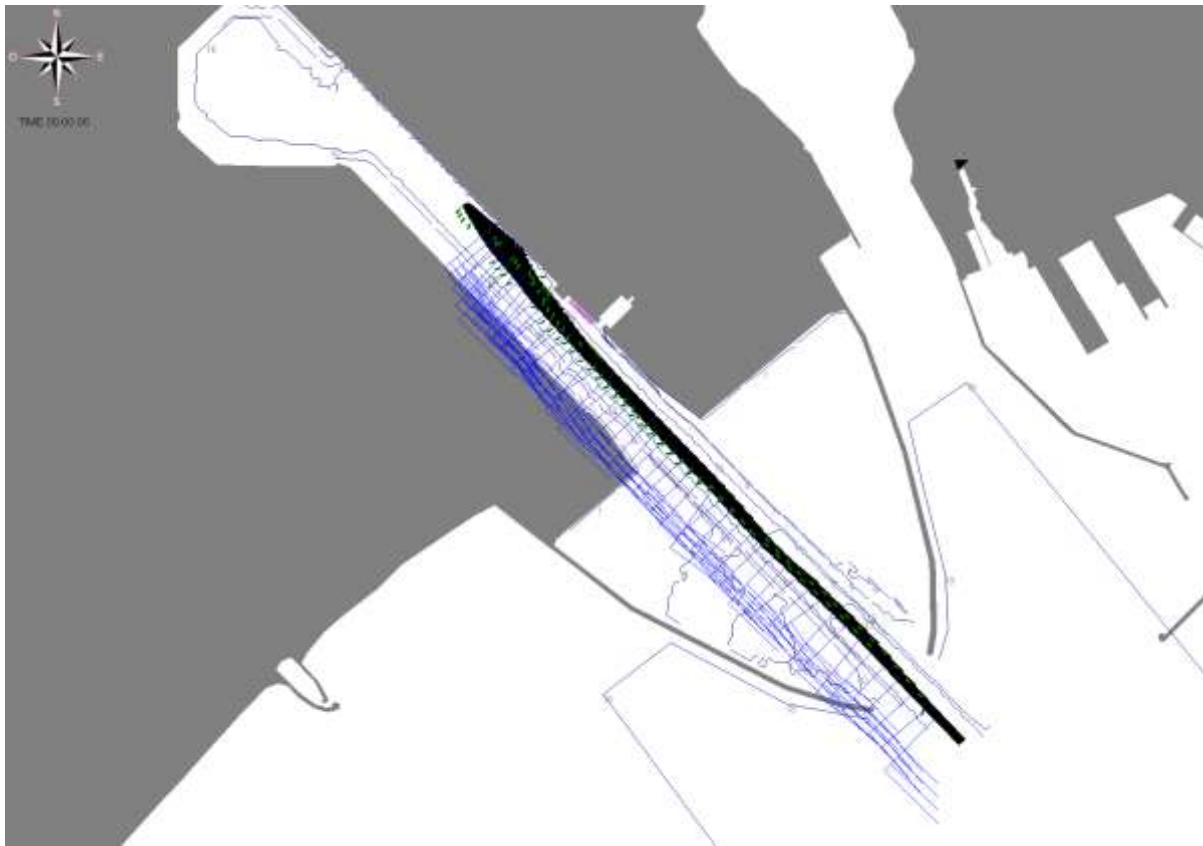
**Fig. 2 - M02**



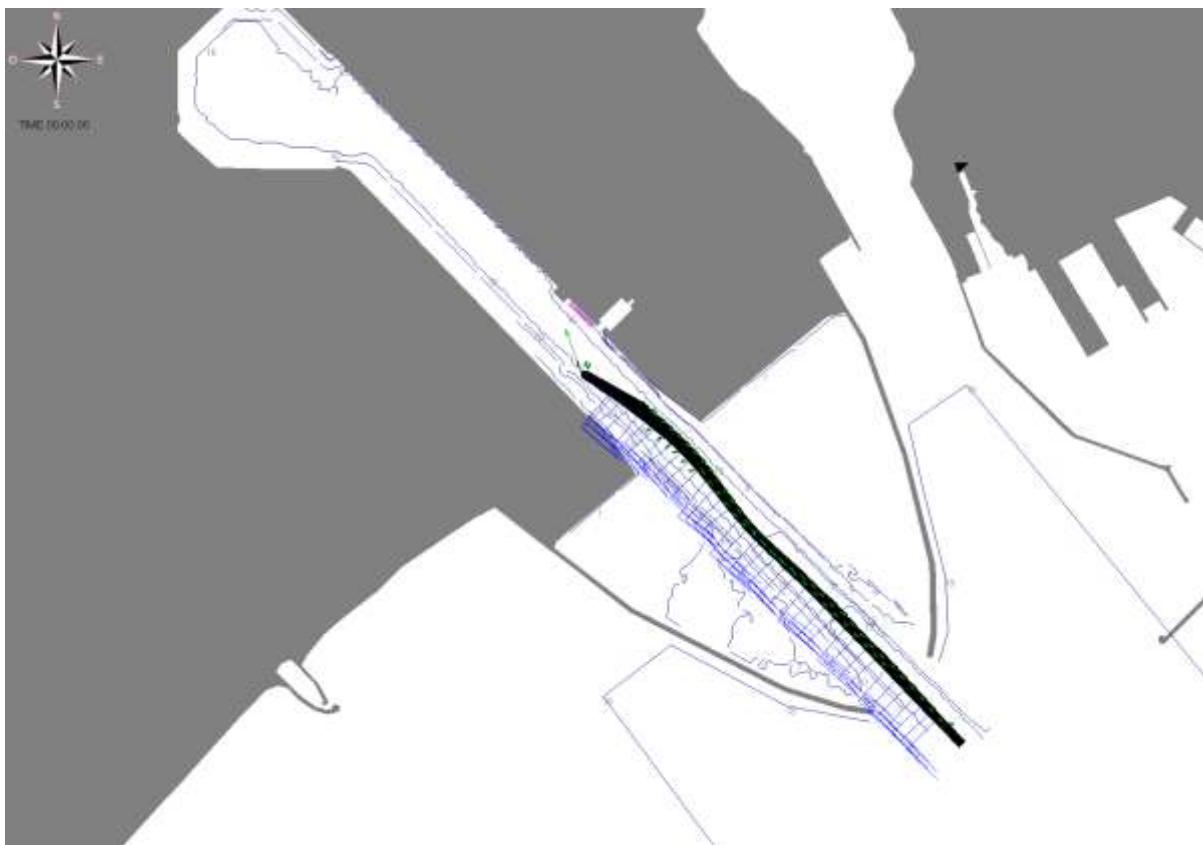
**Fig. 3 - M03**



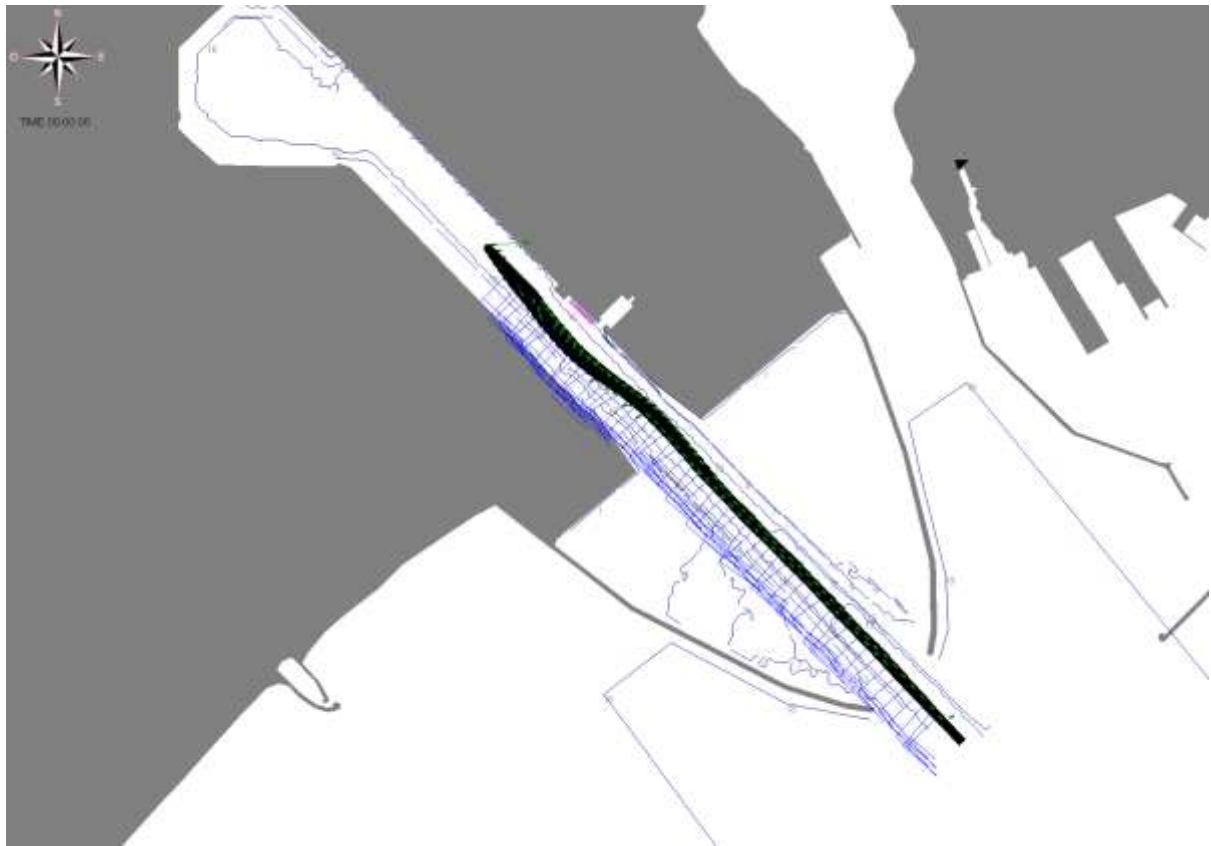
**Fig. 4 - M04**



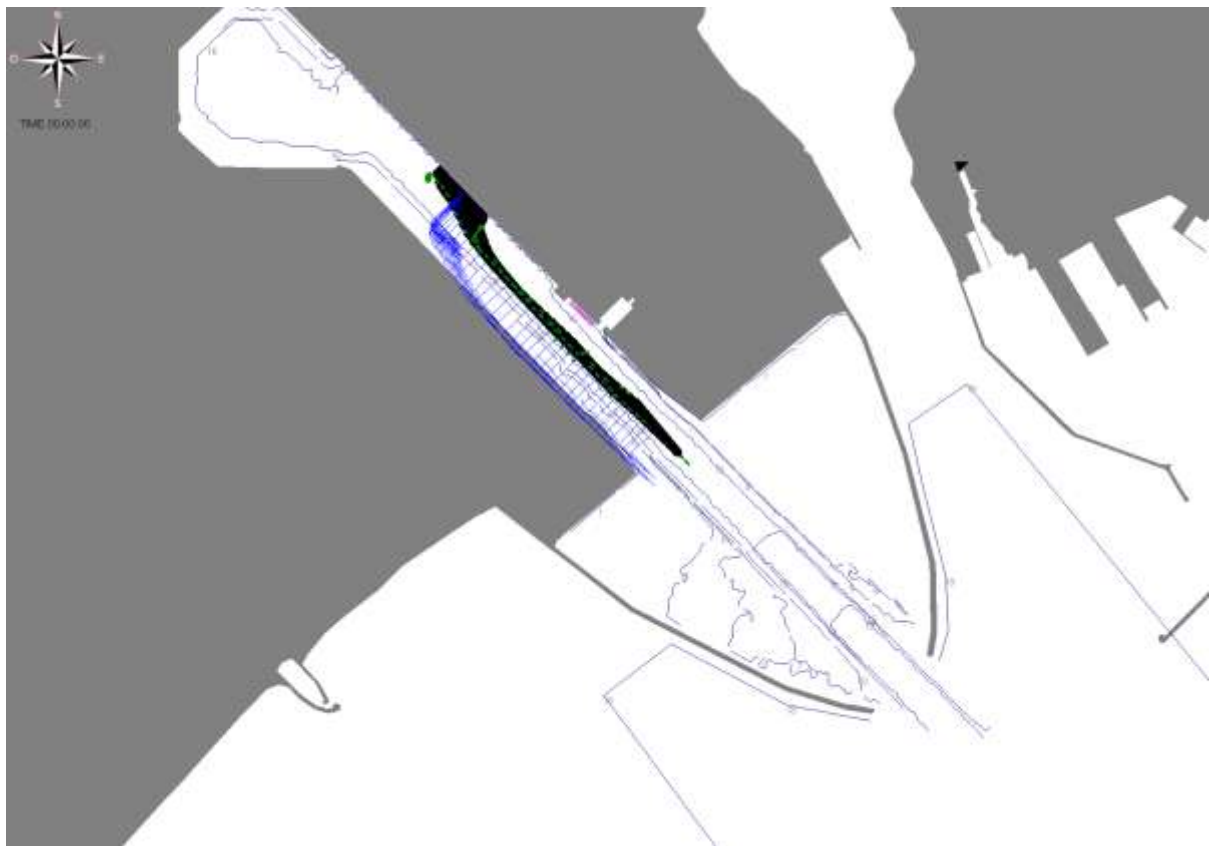
**Fig. 5 - M05**



**Fig. 6 - M06**

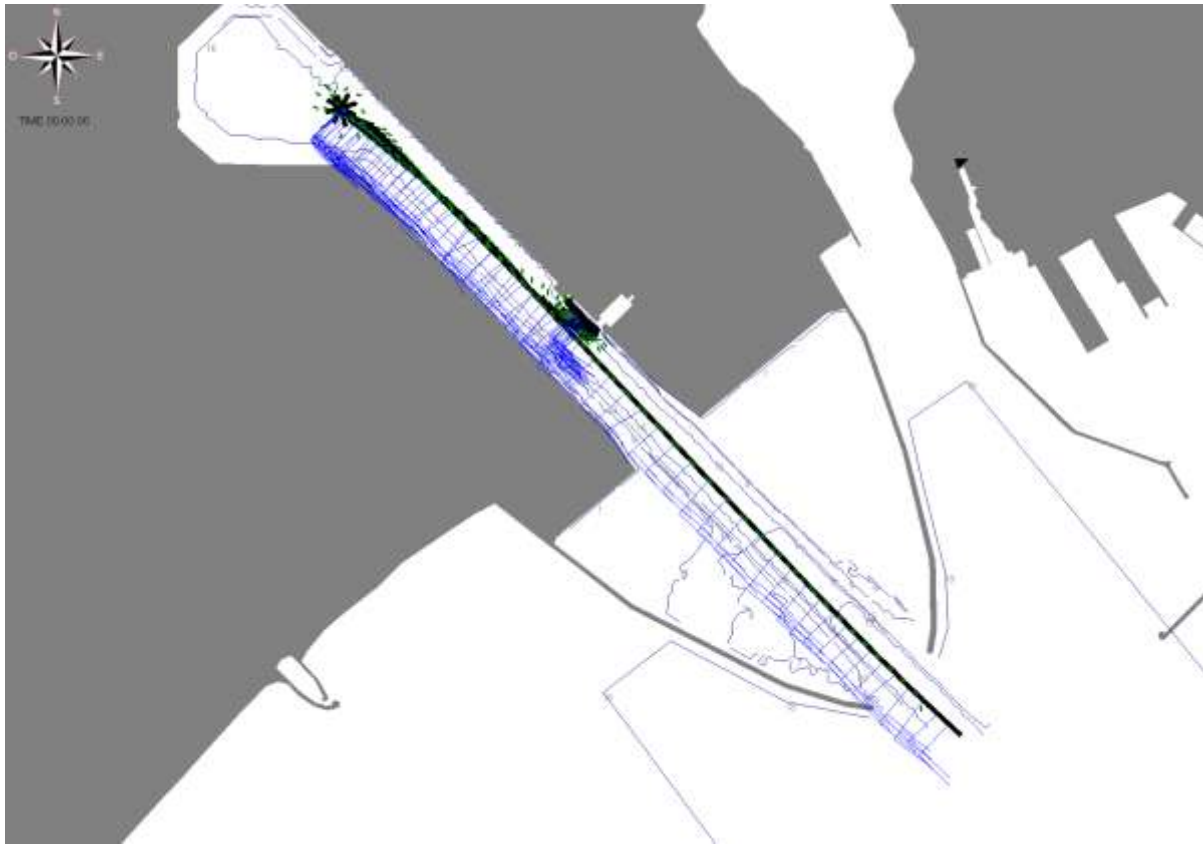


**Fig. 7 - M07**



**Fig. 8 - M08**





**Fig. 9 - M09**

## **APPENDICE B**

### **FOTO DELLE SIMULAZIONI**



**Fig. 10 – Simulatore SAND**



**Fig. 11 - Simulatore SAND**



**Fig. 12 - Simulatore SAND**



**Fig. 13 - Simulatore SAND**



**Fig. 14 - Simulatore SAND**



**Fig. 15 - Simulatore SAND**





**Fig. 16 - Simulatore SAND**



**Fig. 17 - Simulatore SAND**





**Fig. 18 - Simulatore SAND**



**Fig. 19 - Simulatore SAND**



**Fig. 20 - Simulatore SAND**



**Fig. 21 - Simulatore SAND**



**Fig. 22 - Simulatore SAND**



**Fig. 23 – Discussione dei risultati**





**Fig. 24 - Discussione dei risultati**



**Fig. 25 - Discussione dei risultati**



**Fig. 26 - Discussione dei risultati**



**Fig. 27 - Discussione dei risultati**

## **ALLEGATI**



I risultati completi delle simulazioni eseguite che costituiscono gli **ALLEGATI** al presente rapporto tecnico sono stati resi disponibili al Cliente in formato elettronico via collegamento web dedicato, accessibile solo tramite password:



Una volta eseguito il login si arriva alla pagina seguente:



I file messi a disposizione on line al Cliente raccolgono tutti i dati elaborati nel corso dello studio di manovrabilità.

In sintesi sono disponibili:

- le **Pilot Card** delle unità simulate;
- le **tabelle** con la lista dei test eseguiti al simulatore;
- le **immagini** delle traiettorie involupate della singola manovra, suddivisi per data di svolgimento ed indicati come da **Tabella 6-1**, **Tabella 6-2**, **Tabella 6-3** e **Tabella 6-4**

- 
- i **filmati 2D** riproducibili in playback di tutti i test, così come visualizzati sulla plancia 2D del SAND;
  - le **fotografie** scattate durante le giornate di lavoro;
- e infine
- le storie temporali di tutte le **grandezze** simulate durante ciascun test.