

Report n. 15102

Rev. 00

Simulazioni di manovra FSRU Alto Tirreno – Vado Ligure

Autori / Authors: Daniele MILAZZO, Maria Grazia SOCIEVOLE

Data emissione / Issue date: 27/10/2023

Pagina intenzionalmente bianca / *This page intentionally left blank*

Report n. 15102	Rev. 00	Data emissione / Issue date 27/10/2023
<p><i>Titolo / Title</i></p> <p>Simulazioni di manovra FSRU Alto Tirreno – Vado Ligure</p>		
<p><i>Autori / Authors</i></p> <p>Daniele MILAZZO, Maria Grazia SOCIEVOLE</p>		
<p><i>Sommario / Abstract</i></p> <p><i>Il presente verbale è finalizzato alla presentazione dei risultati delle simulazioni di manovra Real-Time svolte a largo del porto di Vado Ligure (SV), zona d'ancoraggio Charlie, da parte di CETENA S.p.A. per conto di Techfem S.p.A., relativamente al progetto "FSRU Alto Tirreno" di SNAM che prevede l'ormeggio permanente di un'unità tipo FSRU e conseguenti operazioni Ship to Ship con un'unità di tipo LNG Carrier.</i></p> <p><i>In particolare, è stata verificata la fattibilità delle manovre di arrivo e partenza, al variare delle condizioni meteo marine tipiche dell'area, da parte in un'unità LNG Carrier rifornitrice presso un'unità di stoccaggio e rigassificazione (FSRU) galleggiante ormeggiata nella rada nel porto di Vado Ligure (SV), nello specifico nella zona di ancoraggio Charlie. Inoltre, è stata verificata la fattibilità della manovra di uscita dal porto di Vado Ligure da parte di un'unità Portacontainer.</i></p>		
<p><i>Autori / Authors</i></p> <p><i>Daniele Milazzo</i> <i>Maria Grazia Socievole</i></p>	<p><i>Verificato / Verified</i></p> <p><i>[Signature]</i></p>	<p><i>Approvato / Approved</i></p> <p><i>[Signature]</i></p>
<p><i>Circolazione / Circulation</i></p> <p>Interna / Internal Only</p> <p>Libera / Free</p> <p>X Riservata Industriale / Commercial in confidence</p> <p>Classificata / Classified</p>	<p><i>Codici di distribuzione / Distribution codes</i></p> <p>Snam FSRU Italia</p> <p>Techfem S.p.A.</p>	
<p><i>Pagine / Sheets</i></p> <p>54</p>	<p><i>Commessa / Job</i></p> <p>69160423165</p>	<p><i>Note / Notes</i></p>

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

INDICE

INTRODUZIONE	8
1 SCOPO DEL LAVORO	9
1.1 Definizione degli obiettivi	10
2 DESCRIZIONE DEL SIMULATORE DI MANOVRA: WHALE	12
3 Configurazione portuale e condizioni generali delle simulazioni di manovra	16
3.1 Descrizione del layout di manovra.....	16
3.2 Definizione dell'area schematizzata per le simulazioni di manovra.....	17
4 DATI GEOMETRICI DI INPUT DELLE SIMULAZIONI	19
4.1 Caratteristiche principali FSRU	20
4.2 Caratteristiche principali LNG Carrier 181000 m3.....	21
4.3 Caratteristiche principali Container Ship 13000 TEU.....	22
4.4 Caratteristiche principali dei rimorchiatori.....	23
5 CONDIZIONI METEOMARINE	24
6 CONDIZIONI FINALI DI SIMULAZIONE E LORO ESECUZIONE	25
6.1 Manovre eseguite al simulatore	25
6.2 Elenco e risultati delle manovre eseguite al simulatore	26
6.2.1 C010 – Test.....	32
6.3 Presentazione dei file dei risultati delle simulazioni.....	35
7 CONCLUSIONI	36
7.1 Riassunto delle manovre eseguite	38
7.2 In sintesi.....	40
8 RIFERIMENTI	41
APPENDICI	42
APPENDICE A	43
ALLEGATI	53

Indice delle Tabelle

Tab. 41 Caratteristiche principali del FSRU.	20
Tab. 4- Caratteristiche principali della LNG Carrier.	21
Tab. 4- Caratteristiche principali della Container Ship 13000 TEU.....	22
Tab. 5-1 Condizioni meteomarine considerate per le simulazioni.	24
Tab. 6-1 Sintesi delle manovre effettuate con la LNG Carrier	31

Indice delle Figure

Fig. 1-1 Direzione ed intensità dei venti considerati durante le manovre.	11
Fig. 1-2 Numero di manovre eseguite al simulatore, associate alla direzione e intensità del vento	11
Fig. 2-1 Principali blocchi del modello matematico del simulatore	12
Fig. 2-2 Simulatore di manovra – Allestimento attuale del laboratorio di simulazione	13
Fig. 2-3 Simulatore di manovra – Postazione con visore HMD 3D dedicato alla visuale dalle alette	14
Fig. 2-4 Simulatore di manovra.....	15
Fig. 2-5 Simulatore di manovra – Scenario 3D rada di Vado Ligure	15
Fig. 3-1 Vista dall'alto del Porto di Vado Ligure	16
Fig. 3-2 Configurazione Porto utilizzata	17
Fig. 3-3 Zona d'ancoraggio Charlie – Layout 2D di progetto rappresentato nel simulatore WHALE, con andamento dei fondali e ingombro presente nell'area di manovra.	18
Fig. 4-1 Simulatore WHALE – Durante le prove i rimorchiatori sono stati comandati tramite un touch screen dedicato.	23
Fig. 6-1 Numero manovre eseguite con LNG Carrier.....	25
La rappresentazione del layout portuale utilizzato è riportata in Fig.6-2.....	33
Fig. 6-3 C010 - Test	33
Fig. 7-1 - Venti ed intensità considerati durante le manovre	38
Fig. 7-2 - Numero di manovre associate a direzione e intensità di vento	39

Indice delle Figure – Appendice A

Fig. A - 1 – Manovra L010 – LNG Carrier - Arrivo Maestrale 15 nodi.....	44
Fig. A - 2 – Manovra L020 – LNG Carrier - Arrivo Maestrale 25 nodi.....	44
Fig. A - 3 – Manovra L030 – LNG Carrier - Partenza Maestrale 25 nodi.....	45
Fig. A - 4 – Manovra L040 – LNG Carrier - Arrivo Scirocco 15 nodi.....	45
Fig. A - 5 – Manovra L041 – LNG Carrier - Arrivo Scirocco 15 nodi.....	46
Fig. A - 6 – Manovra L042 – LNG Carrier - Arrivo Scirocco 15 nodi.....	46
Fig. A - 7 – Manovra L043 – LNG Carrier - Arrivo Scirocco 15 nodi.....	47
Fig. A - 8 – Manovra L050 – LNG Carrier - Arrivo Scirocco 15 nodi.....	47
Fig. A - 9 – Manovra L051 – LNG Carrier - Arrivo Scirocco 15 nodi.....	48
Fig. A - 10 – Manovra L060 – LNG Carrier - Partenza Scirocco 30 nodi.....	48
Fig. A - 11 – Manovra L070 – LNG Carrier - Arrivo Libeccio 15 nodi.....	49
Fig. A - 12 – Manovra L080 – LNG Carrier - Arrivo Libeccio 20 nodi.....	49
Fig. A - 13 – Manovra L090 – LNG Carrier - Partenza Libeccio 15 nodi.....	50
Fig. A - 14 – Manovra L100 – LNG Carrier - Partenza Libeccio 30 nodi.....	50
Fig. A - 15 – Manovra L110 – LNG Carrier - Partenza Maestrale 35 nodi.....	51
Fig. A - 16 – Manovra L120 – LNG Carrier - Arrivo Scirocco 20 nodi.....	51
Fig. A - 17 – Manovra L130 – LNG Carrier - Arrivo Scirocco 15 nodi.....	52
Fig. A - 18 – Manovra C010 – Container Ship 13000 TEU - Partenza Scirocco 20 nodi.....	52

INTRODUZIONE

Il presente verbale è finalizzato alla presentazione dei risultati delle simulazioni di manovra Real-Time svolte a largo del porto di Vado Ligure (SV), zona d'ancoraggio Charlie, da parte di CETENA S.p.A. per conto di Techfem S.p.A., relativamente al progetto "FSRU Alto Tirreno" di SNAM che prevede l'ormeggio permanente di un'unità tipo FSRU e conseguenti operazioni *Ship to Ship* con un'unità di tipo LNG Carrier.

In particolare, è stata verificata la fattibilità delle manovre di arrivo e partenza, al variare delle condizioni meteo marine tipiche dell'area, da parte in un'unità LNG Carrier rifornitrice presso un'unità di stoccaggio e rigassificazione (FSRU) galleggiante. Inoltre, è stata verificata la fattibilità della manovra di uscita dal porto di Vado Ligure da parte di un'unità Portacontainer. Le caratteristiche nelle navi simulate sono descritte nel corso di questo documento

I test al simulatore di manovra Real-Time si sono svolti nel corso di 2 giornate di simulazione, 26 e 27 Settembre 2023, in presenza dell'intero gruppo di lavoro. Le manovre sono state eseguite dai Piloti del Corpo Piloti del Porto di Vado Ligure coadiuvati da un esperto esecutore messo a disposizione da CETENA e dal personale stesso CETENA.

Durante le giornate di prove al simulatore sono intervenuti gli operatori interessati allo svolgimento dello studio, appartenenti a Capitaneria di Porto Savona, Corpo Piloti di Savona e Vado, Carmelo Noli Srl, Gruppo Ormeggiatori del Porto di Savona, Vado e Imperia, Transmare Srl e Snam FSRU Italia.

Si riporta qui di seguito la lista dei presenti:

Partecipanti	Ente / Società di appartenenza	Note
Com. G. Lettich	Ex Capo del Corpo Piloti di Genova	Esperto esecutore messo a disposizione da CETENA
Ing. G. Lanza	Snam FSRU Italia	Supervisione alle manovre (da remoto)
Ing. F. Vieceli		Supervisione alle manovre
Cap. D. Isola		
Ing. A. Cabra		
T.V. M. Merico	Capitaneria di Porto Savona	Supervisione alle manovre
Com. M. Abbate	Corpo Piloti di Savona e Vado	Esecuzione manovre al simulatore
Com. F. Bugna		
Com. A. Beviacqua	Carmelo Noli Srl	Esecuzione manovre dei rimorchiatori al simulatore
Com. P. Santi Laurini		
Com. G. Luiso		
Dott. S. D'Angelo		

M. Balestrino	Gruppo Ormeggiatori del Porto di Savona, Vado e Imperia	Supervisione alle manovre
M. Altieri		
F. Conni	Transmare Srl	Supervisione alle manovre
Ing. D. Milazzo	CETENA S.p.A.	Supporto e gestione delle prove al simulatore
Ing. M. G. Socievole		

1 SCOPO DEL LAVORO

Il presente rapporto tecnico illustra i risultati delle simulazioni di manovra Real Time svolte da parte di CETENA S.p.A. per conto di Techfem S.p.A. (Cliente).

In particolare, è stata verificata la fattibilità delle manovre di arrivo e partenza, al variare delle condizioni meteo marine tipiche dell'area, da parte in un'unità LNG Carrier rifornitrice presso un'unità di stoccaggio e rigassificazione (FSRU) galleggiante ormeggiata nella rada nel porto di Vado Ligure (SV), nello specifico nella zona di ancoraggio Charlie. Inoltre, è stata verificata la fattibilità della manovra di uscita dal porto di Vado Ligure da parte di un'unità Portacontainer.

Il presente studio è stato effettuato simulando un'unità LNG Carrier (300 m x 50 m) considerando due diverse immersioni, rispettivamente 12.5 m per la condizione di arrivo (full loaded) e 9.5 m per la condizione di partenza (ballast) e, un'unità Container Ship da 13000 TEU (366 m x 49 m).

Per quanto riguarda le condizioni meteomarine, nello studio è stato considerato vento proveniente da 135° N (Scirocco), 200° N (Libeccio) e 315°N (Maestrale) con intensità variabile tra i 15 e i 35 nodi di velocità. L'agitazione ondosa è stata considerata compresa tra 1 m e 2.5 m.

Le caratteristiche di dettaglio del layout portuale, delle navi simulate e delle condizioni meteomarine utilizzate negli scenari del simulatore sono descritte nel seguito del presente documento tecnico.

1.1 Definizione degli obiettivi

Il principale obiettivo di questo studio al simulatore, eseguito da CETENA, è la valutazione della manovrabilità da parte un'unità LNG Carrier rifornitrice in relazione alle operazioni off-shore del tipo *Ship to Ship*. In particolare, vengono analizzate le fasi di accosto delle manovre di arrivo presso l'unità FSRU, così come il distacco della nave in partenza dalla stessa e la successiva navigazione verso le acque libere al di fuori della zona di ancoraggio.

Gli obiettivi delle simulazioni possono essere sintetizzati come segue, nei vari scenari meteomari presi in considerazione:

- la verifica del *numero e della taglia dei rimorchiatori* che si rendono necessari per eseguire la manovra in sicurezza da parte della nave;
- lo studio della *fattibilità dell'arrivo/partenza in condizioni meteomarine variabili*, particolarmente in relazione alla *geometria dello specchio acqueo* interessato dalla manovra, e quindi alla *effettiva possibilità di operare con i rimorchiatori*;
- la verifica *dell'adeguatezza dello specchio acqueo a disposizione* (area Charlie) per poter compiere le manovre di arrivo/partenza in funzione sia delle condizioni di vento, che degli ingombri presenti normalmente nell'area di manovra, considerando anche altre interferenze date dal traffico portuale;
- la *verifica delle condizioni di esercizio* (es. velocità massime nave) e lo *studio delle tecniche di manovra ottimali* per le unità in arrivo e partenza dall'accosto.

Di seguito sono stati riportati due grafici che riassumono il lavoro svolto. Ogni grafico, paragonabile ad una "rosa dei venti", distingue con cerchi concentrici l'intensità del vento applicato: allontanandosi dal centro del grafico (zona di calma e indicata con colore bianco), l'intensità del vento aumenta. In Fig. 1-1 si possono osservare le condizioni meteo considerate durante le sessioni di simulazione, mentre in Fig. 1-2 sono state riportate le manovre eseguite per ogni condizione meteo considerata.

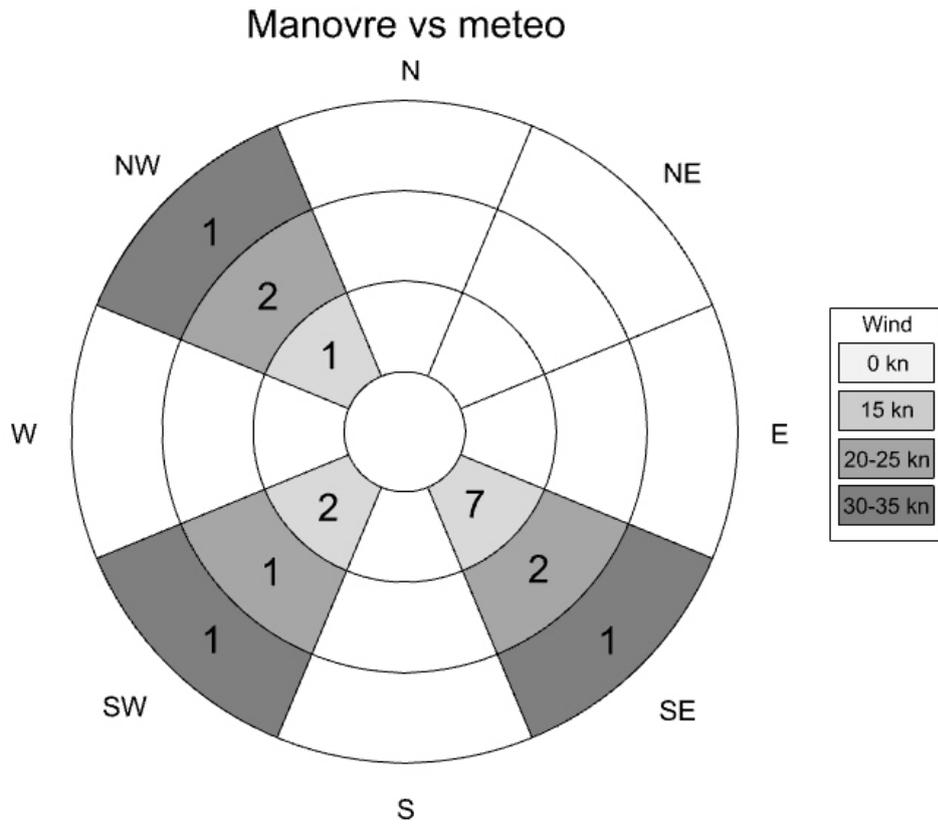


Fig. 1-1 Direzione ed intensità dei venti considerati durante le manovre.

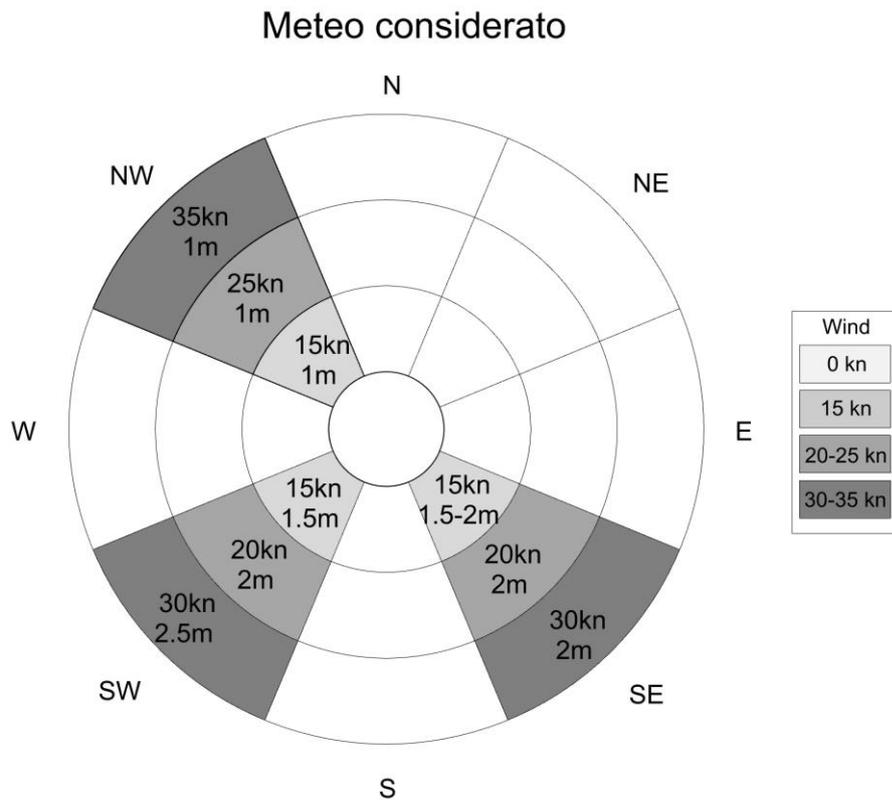


Fig. 1-2 Numero di manovre eseguite al simulatore, associate alla direzione e intensità del vento

2 DESCRIZIONE DEL SIMULATORE DI MANOVRA: WHALE

Il simulatore di manovra real-time full mission WHALE implementa un modello matematico della manovrabilità della nave, interamente sviluppato da CETENA S.p.A., di cui verranno qui di seguito richiamate le caratteristiche generali.

La nave in esame viene configurata in maniera dettagliata, inserendo nel sistema numerosi parametri, raggruppati secondo la struttura del modello stesso:

- ❖ Dati dello scafo
- ❖ Propulsione principale
- ❖ Apparato motore
- ❖ Appendici di carena
- ❖ Eliche di manovra
- ❖ Timone
- ❖ Aree esposte al vento

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



Fig. 2-1 Principali blocchi del modello matematico del simulatore

Il simulatore integra al suo interno, oltre agli aspetti propri della nave (geometria dello scafo, apparati di propulsione, appendici), anche il contesto in cui la simulazione ha luogo, costituito dallo stato di mare, dalla corrente, dal vento ("condizioni meteomarine"), dagli eventuali rimorchiatori utilizzati in

manovra, dalla mappa del porto (“layout”) e 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. Questo viene realizzato introducendo nel modello della nave i seguenti parametri, implementati e generati in tempo reale dal simulatore:

- Parametri ambientali (vento, corrente, onde del mare)
- Effetti specifici relativi al porto considerato
- Modelli di calcolo per acque ristrette
- Shallow waters

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”.

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*.

È inoltre possibile simulare in tempo reale condizioni di emergenza dovute ad improvvise avarie (es. avaria dell’apparato motore e dei mezzi di governo) e conseguentemente valutare gli effetti sulla traiettoria simulata della nave a seguito dell’utilizzo, ad esempio, di ancore e catene.



Fig. 2-2 Simulatore di manovra – Allestimento attuale del laboratorio di simulazione

Per quanto riguarda la parte grafica, il laboratorio VISLAB del CETENA, recentemente rinnovato e in via di sviluppo di ulteriori dotazioni, è stato attrezzato con un sistema di schermi che consentono la visualizzazione tridimensionale dello scenario portuale, della nave in simulazione e degli eventuali rimorchiatori in ausilio alla nave (v. Fig. 2-2).

Inoltre, una postazione laterale consente la visione (tramite visore HMD 3D stereoscopico tipo **Oculus Rift**) dello stesso scenario 3D dal punto di vista esterno, ad esempio posto su un'aletta della nave. Si veda la seguente Fig. 2-3.



Fig. 2-3 Simulatore di manovra – Postazione con visore HMD 3D dedicato alla visuale dalle alette

La Fig. 2-4 mostra una vista della sala di simulazione. In particolare, in Fig. 2-5, vi è una delle fotografie scattate durante le simulazioni, in cui è possibile apprezzare le viste esterne in 3D realizzate per lo studio di manovrabilità per la zona di ancoraggio Charlie (Vado Ligure).



Fig. 2-4 Simulatore di manovra



Fig. 2-5 Simulatore di manovra – Scenario 3D rada di Vado Ligure

3 Configurazione portuale e condizioni generali delle simulazioni di manovra

3.1 Descrizione del layout di manovra

Il porto di Vado Ligure (Fig. 3-1) è il più occidentale fra i quattro bacini del sistema portuale del Mar Ligure. Lo scalo è specializzato nel settore della frutta e traffico contenitori, nonché per i traghetti che offrono collegamenti regolari verso la Corsica. Nella rada si trovano impianti per lo sbarco di prodotti petroliferi, destinati alle industrie costiere ed alle raffinerie dell'entroterra. In particolare, vengono individuate quattro zone di fonda destinate all'ancoraggio di unità di tipo navi cisterne, di cui quella denominata *Charlie* è di forma circolare con centro nel punto di coordinate 44°16'29.52"N, 8°29'27.42"E e raggio pari a 0.45 miglia nautiche.

Il layout utilizzato durante i test al simulatore tiene conto degli ingombri presenti e futuri dell'area portuale, come il campo boe dedicato all'ormeggio delle navi tipo Tanker, il cantiere di costruzioni dei cassoni destinati alla nuova diga di Genova e la configurazione futura, denominata "fase 2", della nuova diga del porto di Vado Ligure.



Fig. 3-1 Vista dall'alto del Porto di Vado Ligure



Fig. 3-2 Configurazione Porto utilizzata

La *batimetria* dell'area di studio interessata è stata importata utilizzando i dati ricavati dalle relative carte nautiche.

3.2 Definizione dell'area schematizzata per le simulazioni di manovra

Il *layout* riportato nel simulatore WHALE, e visualizzato nel display 2D della plancia, si presenta come nella Fig. 3-3.

La mappa 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. In Fig. 3-3 è stato riportato inoltre il contorno della FSRU ormeggiata (silhouette nera) presso la zona di ancoraggio (circonferenza verde) e l'ingombro di una unità tanker presso il campo boe (silhouette celeste).

Come verrà illustrato più avanti, nel corso di questo rapporto tecnico, per ogni configurazione meteo-marina sono state prese in considerazione le distribuzioni tipiche di vento e moto ondoso 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.



Fig. 3-3 Zona d'ancoraggio Charlie – Layout 2D di progetto rappresentato nel simulatore WHALE, con andamento dei fondali e ingombro presente nell'area di manovra.

Le tecniche di approccio sono state condivise dai servizi tecnici nautici e, per quanto riguarda la posizione iniziale della nave *in arrivo nella zona di ancoraggio* durante i test essa è stata generalmente posta in direzione consona alla manovra di affiancamento con velocità iniziale attorno ai 4 kn.

La posizione iniziale della LNG Carrier, per le simulazioni *di partenza* dall'area d'ancoraggio, è stata posta parallela al FSRU.

4 DATI GEOMETRICI DI INPUT DELLE SIMULAZIONI

Nel seguito, vengono illustrate le caratteristiche principali dell'unità navali prese in considerazione per questo studio di manovrabilità, nello specifico un'unità di tipo LNG Carrier e un'unità di tipo Container Ship.

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 del Pilota.

Le *caratteristiche dei rimorchiatori*, ovvero la taglia e le tempistiche di intervento, sono state impostate facendo riferimento alle caratteristiche dei rimorchiatori attualmente in dotazione presso il Porto di Vado Ligure e ipotizzando possibili nuove configurazioni della flotta portuale.

4.1 Caratteristiche principali FSRU

Le caratteristiche principali della FSRU sono state riassunte nella tabella seguente.

La nave è monoelica a pale fisse, è dotata di uno stern thruster di potenza pari a 2200 kW ed è stata considerata ormeggiata tramite torretta a prua, libera di orientarsi a “bandiera” nelle varie condizioni meteomarine, controllando l’angolo di prua con il solo ausilio del thruster poppiero.



Dati Principali		
Lunghezza Fuori Tutto	292.6	m
Lunghezza fra le perpendicolari	290	m
Larghezza	43.4	m
Potenza installata A.M.	1 x 26785	kW
Velocità massima	19.5	knots
Immersione	9.5	m
Dislocamento	85075	t
Area laterale esposta	7916	m ²
Area frontale esposta	1200	m ²
Dati Eliche di propulsione		
Numero di Eliche	1	FPP
Numero Pale	4	
Diametro	8.65	m
Velocità di rotazione	100	RPM
Dati eliche di manovra		
Stern thrusters	1 x 2200 kW	kW

Tab. 41 Caratteristiche principali del FSRU.

4.2 Caratteristiche principali LNG Carrier 181000 m3

Le caratteristiche principali della LNG Carrier sono state riassunte nella tabella seguente.

La nave è monoelica a pale fisse, è propulsa da un apparato motore che sviluppa 29 MW complessivi ed ha una velocità massima di 19.5 nodi.



Dati Principali		
Lunghezza Fuori Tutto	300	m
Lunghezza fra le perpendicolari	290	m
Larghezza	50	m
Potenza installata A.M.	1 x 29000	kW
Velocità massima	19.5	knots
Immersione 1		
Immersione	9.5	m
Dislocamento	102000	t
Area laterale esposta	8390	m ²
Area frontale esposta	1380	m ²
Immersione 2		
Immersione	12.5	m
Dislocamento	136000	t
Area laterale esposta	7550	m ²
Area frontale esposta	1255	m ²
Dati Eliche di propulsione		
Numero di Eliche	1	FPP
Numero Pale	6	
Diametro	8.65	m
Velocità di rotazione	100	RPM
Dati eliche di manovra		
Bow thrusters	-	kW

Tab. 4-2 Caratteristiche principali della LNG Carrier.

4.3 Caratteristiche principali Container Ship 13000 TEU

Le caratteristiche principali della Container Ship sono state riassunte nella tabella seguente.

La nave è monoelica a pale fisse, è propulsa da un apparato motore che sviluppa 68,5 MW complessivi ed ha una velocità massima di 24 nodi. È dotata di due bow thruster da 2600 kW cadauno.



Dati Principali		
Lunghezza Fuori Tutto	366	m
Lunghezza fra le perpendicolari	355	m
Larghezza	49	m
Immersione	11.5	m
Dislocamento	165000	t
Potenza installata A.M.	1 x 68500	kW
Velocità massima	24	knots
Area laterale esposta	16960	m ²
Area frontale esposta	2580	m ²
Dati Eliche di propulsione		
Numero di Eliche	1	FPP
Numero Pale	6	
Diametro	9	m
Velocità di rotazione	88	RPM
Dati eliche di manovra		
Bow thrusters	2 x 2600	kW

Tab. 4-3 Caratteristiche principali della Container Ship 13000 TEU.

4.4 Caratteristiche principali dei rimorchiatori

Per l'esecuzione dello studio è stato scelto di adoperare il numero e la potenza dei rimorchiatori (e di conseguenza il loro posizionamento) che, a giudizio del Pilota presente alle prove, fosse di volta in volta necessario al fine di poter manovrare in sicurezza all'interno dell'area di manovra, nelle diverse condizioni meteomarine considerate. In particolare, sono state impiegate le seguenti flotte di rimorchiatori:

- n. 3 rimorchiatori da 70t di Bollard Pull;
- n. 3 rimorchiatori da 70t di Bollard Pull e n.1 rimorchiatore da 50t di Bollard Pull;
- n. 2 rimorchiatori da 80t di Bollard Pull e n.1 rimorchiatore da 70t di Bollard Pull;
- n. 2 rimorchiatori da 90t di Bollard Pull e n.1 rimorchiatore da 70t di Bollard Pull;

Il numero necessario allo svolgimento delle manovre e l'adeguatezza di tali rimorchiatori sono stati riassunti nei paragrafi successivi di questo rapporto tecnico.

Per la rappresentazione al simulatore dei rimorchiatori, azionati tramite un touch-screen dedicato (Fig. 4-1), si tenga presente che è possibile gestirne sia la posizione attorno alla nave sia la percentuale di potenza erogata in tiro o in spinta, variata in tempo reale dall'operatore in base alle indicazioni del Pilota al comando dell'unità navale simulata.

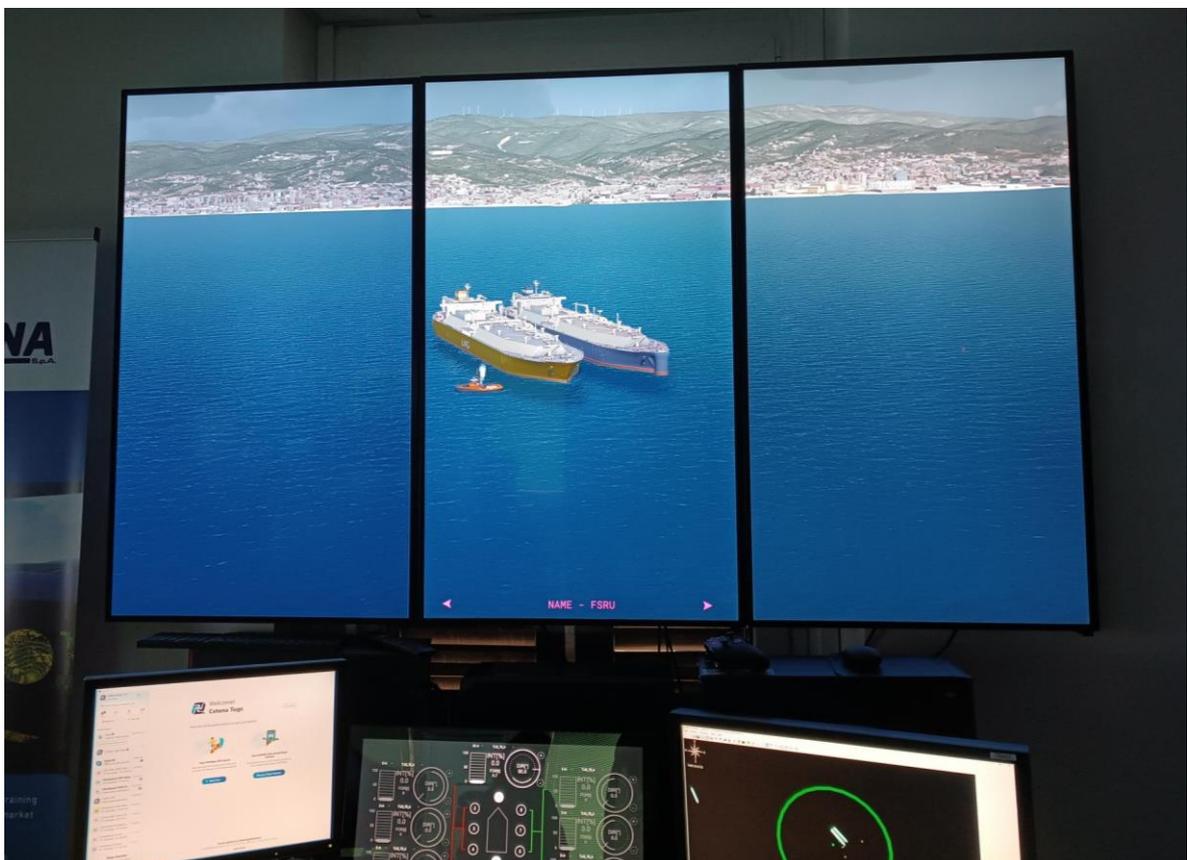


Fig. 4-1 Simulatore WHALE – Durante le prove i rimorchiatori sono stati comandati tramite un touch screen dedicato.

5 CONDIZIONI METEOMARINE

Durante le giornate di lavoro sono state individuate le condizioni di riferimento per la navigazione simulata, caratterizzandole tramite *intensità* e *direzione* di *vento* e *moto ondoso*.

Con riferimento agli obiettivi di questo studio di manovrabilità (cfr. **Capitolo 1**) per le simulazioni sono state scelte, a seguito di un confronto collegiale con gli enti presenti, le condizioni meteomarine più severe e quelle più comuni per il paraggio a largo delle coste del Porto di Vado Ligure, ovvero quelle con vento proveniente da 135°N (Scirocco), 200°N (Libeccio) e 315°N (Maestrale), di intensità variabile tra i 15 e i 35 nodi di velocità.

L'agitazione ondosa è stata considerata compresa tra 1 m e 2.5 m coerentemente alle condizioni di vento esaminate.

Le condizioni meteomarine adottate per lo studio sono sintetizzate nella seguente Tab. 5-1:

CONDIZIONI METEOMARINE					
Simulazioni di Manovrabilità – FSRU Alto Tirreno					
DIR. / INTENSITA' VENTO	CARATTERISTICHE MARE ASSOCIATO			CARATTERISTICHE CORRENTE ASSOCIATA	
	Dir. [°N]	Hs [m]	Tp [s]	Dir. [°N]	Vel. [kn]
SE (135°N) – Scirocco, 15 kn	135	1.5	6.5	-	-
SE (135°N) – Scirocco, 15 kn	135	1.5	6.5	270	0.5
SE (135°N) – Scirocco, 15 kn	135	2	6.5	-	-
SE (135°N) – Scirocco, 15 kn	135	2	6.5	270	0.5
SE (135°N) – Scirocco, 20 kn	135	2	6.5	-	-
SE (135°N) – Scirocco, 20 kn	135	2	6.5	270	0.5
SE (135°N) – Scirocco, 30 kn	135	2	6.5	-	-
SSW (200°N) – Libeccio, 15 kn	200	1.5	6.5	-	-
SSW (200°N) – Libeccio, 20 kn	200	2	6.5	-	-
SSW (200°N) – Libeccio, 30 kn	200	2.5	6.5	-	-
NW (315°N) – Maestrale, 15 kn	315	1	6.5	-	-
NW (315°N) – Maestrale, 25 kn	315	1	6.5	-	-
NW (315°N) – Maestrale, 35 kn	315	1	6.5	-	-

Tab. 5-1 Condizioni meteomarine considerate per le simulazioni.

6 CONDIZIONI FINALI DI SIMULAZIONE E LORO ESECUZIONE

Definiti i singoli aspetti delle simulazioni (schematizzazione dei layout portuali, fondale, caratteristiche principali delle unità navali, condizioni meteomarine), CETENA ha messo il simulatore a disposizione del Cliente e di tutti gli operatori invitati per lo svolgimento delle simulazioni di manovra, svoltesi nelle giornate del 26 e 27 Settembre 2023.

I principali aspetti e le criticità emerse durante le simulazioni eseguite sono state discusse fra tutti i presenti in corso d'opera, e condivisi al termine delle giornate durante una riunione collegiale conclusiva, in cui è stato possibile raccogliere anche le varie osservazioni.

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

6.1 Manovre eseguite al simulatore

In totale sono state eseguite n.17 manovre con l'unità LNG Carrier e 1 manovra *test* (partenza) con l'unità Container Ship.

In Fig. 6-1 è riportata una schematizzazione del numero di manovre, differenziata per *partenze* e *arrivi*, eseguite al simulatore:

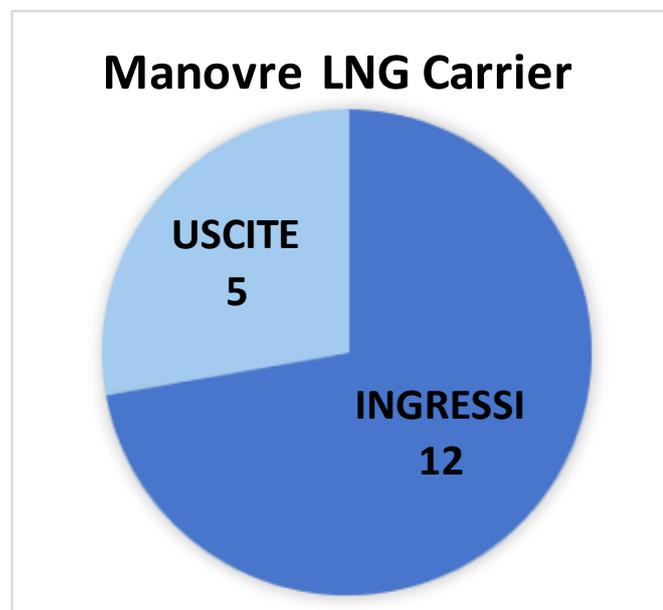


Fig. 6-1 Numero manovre eseguite con LNG Carrier.

6.2 Elenco e risultati delle manovre eseguite al simulatore

Per quanto riguarda la tecnica delle manovre di *arrivo*, a partire dal punto iniziale di start delle simulazioni, l'esecutore della manovra regola l'andatura della nave in funzione della strategia impiegata. L'eventuale ausilio da parte di rimorchiatori è stato valutato di volta in volta dal Pilota esecutore delle manovre in funzione delle condizioni meteomarine.

Tutte le manovre di *arrivo* si sono concluse nei pressi dell'accosto, con nave allineata all'unità FSRU pronta per essere assicurata agli ormeggi, e analogamente tutte le manovre di *partenza* sono iniziate da questa posizione e sono terminate con la nave al di fuori dell'area di ormeggio.

Per quanto riguarda l'esito sulla fattibilità delle manovre eseguite al simulatore, le manovre di *arrivo* sono state ritenute positivamente concluse ("**manovra riuscita**") nel momento in cui, a giudizio del Pilota, la posizione della nave di fronte al rigassificatore, risulta in sicurezza e con dinamica sotto controllo. Allo stesso modo, per quanto riguarda le manovre di *partenza*, esse sono state ritenute concluse positivamente dal momento in cui la nave è libera di navigare fuori dall'area di ancoraggio.

Nelle tabelle seguenti è stato riassunto il lavoro svolto. In particolare, vengono presentati:

- **ID MANOVRA**: il codice alfanumerico di identificazione di ciascuna manovra, nel quale la prima lettera indica l'unità simulata (**L** = LNG Carrier), mentre il numero indica la numerazione progressiva delle manovre svolte con tale unità;
- **NAVE**: l'unità navale impiegata;
- **CONDIZIONI METEOMARINE**: il dettaglio delle condizioni meteomarine (direzione e intensità in nodi del vento, direzione, altezza d'onda significativa e periodo dell'agitazione ondata presente all'esterno dell'area portuale);
- **TIPO (A/P)**: il tipo di manovra (**A** = arrivo, **P** = partenza);
- **INGOMBRO**: gli ingombri presenti (FSRU ormeggiata nell'area Charlie);
- **ACCOSTO/PARTENZA**: banchina destinata all'accosto o dalla quale inizia la manovra di partenza;
- **TUGS**: il numero e le caratteristiche dei rimorchiatori eventualmente utilizzati;
- **ESITO AL SIMULATORE**: l'esito commentato, in estrema sintesi, di queste prove.

ID MANOVRA DURATA	NAVE	CONDIZIONI METEOMARINE								TIPO MANOVRA	INGOMBRO	ACCOSTO- PARTENZA	TUGS e POTENZA		ESITO AL SIMULATORE
		VENTO		MARE			CORRENTE						n°	Taglia	
		Dir.	Vel.	Dir.	Alt.	Per.	Dir.	Vel.							
		[°N]	[kn]	[°N]	[m]	[s]	[°N]	[kn]	[-]				[t]		
L010 [22 min]	LNGC	315	15	315	1	6.5	0	0	A	FSRU	Fianco di dritta FSRU	3	70	<p>MANOVRA RIUSCITA</p> <p>La LNGC inizia la manovra a SE, a circa 4.5kn. Vengono chiamati tre rimorchiatori da 70t, due al cavo, rispettivamente a prua e a poppa, e uno a spingere sul fianco di dritta. La LNGC avanza in direzione parallela al FSRU con il fianco di sinistra verso l'ormeggio. Tutti i rimorchiatori vengono chiamati al lavoro per avvicinare la LNGC. Quello alla spinta lavora fino al 90% della potenza. In approccio alla FSRU i rimorchiatori al cavo vengono posizionati al traverso. La distanza tra le murate è circa 12m. La manovra si conclude con la LNGC affiancata e parallela al rigassificatore.</p>	
L020 [22 min]	LNGC	315	25	315	1	6.5	0	0	A	FSRU	Fianco di dritta FSRU	3	70	<p>MANOVRA RIUSCITA</p> <p>La LNGC inizia la manovra a SE, a circa 4.5kn. Vengono chiamati tre rimorchiatori da 70t, due al cavo, rispettivamente a prua e a poppa, e uno a spingere sul fianco di dritta. Il rimorchiatore alla spinta lavora fino a 75%. Quando la LNGC approccia la FSRU continua a lavorare solo il rimorchiatore al fianco, e man mano che la nave si avvicina diminuisce la sua spinta. I rimorchiatori al cavo a prua e poppa rimangono in bando per tutta la durata della manovra. La manovra si conclude con la LNGC affiancata e parallela al rigassificatore.</p>	
L030 [15 min]	LNGC	315	25	315	1	6.5	0	0	P	FSRU	Fianco di dritta FSRU	2	70	<p>MANOVRA RIUSCITA</p> <p>La manovra inizia con i due rimorchiatori al cavo, rispettivamente a prua e a poppa, angolati a traverso a scostate che lavorano al 50% di potenza, poi entrambi incrementati al 70%. Una volta che la nave LNGC si è allontanata dalla FSRU il rimorchiatore a poppa passa a dritto di poppa e il rimorchiatore di prua tira al traverso verso dritta. Per aiutare l'evoluzione il rimorchiatore al tiro di poppa passa a traverso verso sinistra. I rimorchiatori tirano a tutta potenza quando la nave si trova in corrispondenza della circonferenza limite dell'area Charlie. Di seguito, viene liberato il rimorchiatore a poppa e messo in bando a prua. Successivamente viene liberato anche il rimorchiatore di prua. La manovra termina con la nave libera di navigare al di fuori dell'area Charlie.</p>	
L040 [24min]	LNGC	135	15	135	2	6.5	0	0	A	FSRU	Fianco di dritta FSRU	3	70	<p>MANOVRA RIUSCITA AL LIMITE</p> <p>LNGC in arrivo da SW con velocità iniziale di circa 3 kn. Due rimorchiatori sono posizionati al tiro, a prua e poppa, e uno a spingere sul fianco di dritta. Quando la nave entra nell'area Charlie, il rimorchiatore a prua inizia a tirare al traverso verso dritta per aiutare l'evoluzione e in seguito anche il rimorchiatore di poppa al 50% della potenza. Il rimorchiatore a spingere lavora al massimo della sua potenza. Durante la fase finale dell'approccio al rigassificatore i due rimorchiatori al cavo si alternano utilizzando anche la massima potenza per mantenere il controllo. La manovra si conclude con la LNGC affiancata e parallela al rigassificatore.</p> <p>La manovra con questa configurazione di rimorchiatori, strategia e condizioni meteomarine, secondo le considerazioni dei presenti alle attività, è risultata priva di margine residuo di potenza e perciò non realizzabile.</p>	

ID MANOVRA DURATA	NAVE	CONDIZIONI METEOMARINE								TIPO MANOVRA	INGOMBRO	ACCOSTO- PARTENZA	TUGS e POTENZA		ESITO AL SIMULATORE
		VENTO		MARE			CORRENTE						n°	Taglia	
		Dir.	Vel.	Dir.	Alt.	Per.	Dir.	Vel.							
		[°N]	[kn]	[°N]	[m]	[s]	[°N]	[kn]							
L041 [27 min]	LNGC	135	15	135	2	6.5	270	0.5	A	FSRU	Fianco di dritta FSRU	4	1x50 3x70	MANOVRA RIUSCITA Ripetizione manovra L040 con flotta rimorchiatori differente. Nave in arrivo da SW, con un rimorchiatore da 50t al tiro a prua, un rimorchiatore da 70t a spingere a centro nave al fianco di dritta, un rimorchiatore da 70t a poppa al tiro e l'ultimo rimorchiatore da 70t al tiro sul mascone di dritta. Il rimorchiatore al cavo di prua tira al traverso verso dritta e quello di poppa al cavo tira a traverso verso sinistra. Il rimorchiatore al mascone di sinistra che spinge per far evolvere la nave. Il rimorchiatore a centro nave viene spostato sul mascone del fianco sinistro. In seguito, il rimorchiatore al mascone di sinistra passa di nuovo al fianco di dritta e il rimorchiatore al cavo di prua da 50 t passa al giardinetto di dritta. I rimorchiatori a spingere sul fianco di dritta lavorano fino all' 80% della loro potenza. Il rimorchiatore di poppa passa al traverso e insieme al rimorchiatore al mascone di prua assistono la LNGC per allinearla parallelamente al FSRU e rallentarla.	
L042 [22 min]	LNGC	135	15	135	2	6.5	270	0.5	A	FSRU	Fianco di dritta FSRU	3	1x70 2x80	MANOVRA RIUSCITA Ripetizione manovra L040 con flotta rimorchiatori differente. I due rimorchiatori da 80t sono posizionati uno al cavo a prua e l'altro al cavo a poppa, il rimorchiatore da 70t a spingere su fianco di sinistra. I rimorchiatori di poppa e prua tirano al traverso al 30% della potenza per evolvere la nave. Il rimorchiatore sul fianco sinistro spinge a tutta potenza e passa sul fianco di dritta. La nave continua a evolvere fino a che la nave LNGC non è parallela a FSRU. Quando la nave è parallela alla FSRU il rimorchiatore sul fianco di dritta spinge e accosta la nave.	
L043 [20min]	LNGC	135	15	135	2	6.5	270	0.5	A	FSRU	Fianco di dritta FSRU	3	1x70 2x90	MANOVRA RIUSCITA Ripetizione manovra L040 con flotta rimorchiatori differente. Rimorchiatori da 90t posizionati uno alla spinta sul fianco di sinistra e uno al cavo a prua, il rimorchiatore da 70t impiegato al cavo a poppa. Il rimorchiatore sul fianco di sinistra passa sul fianco di dritta e rimorchiatore a prua tira al traverso verso dritta per far evolvere la nave. Il rimorchiatore a poppa lavora al traverso verso sinistra. Il rimorchiatore sul fianco poi inizia a spingere all'80% della potenza. Quando la LNGC si trova quasi parallela alla FSRU il rimorchiatore di poppa passa al traverso verso dritta e inizia a tirare al 30% della potenza ed il rimorchiatore sul fianco supporta la nave ad accostarsi alla FSRU. La manovra si conclude con la LNGC affiancata e parallela al rigassificatore.	
L050 [27min]	LNGC	135	15	135	1.5	6.5	0	0	A	FSRU	Fianco di dritta FSRU	4	1x50 3x70	MANOVRA RIUSCITA Manovra simile a L041 ma con onda minore. I rimorchiatori da 70t sono posizionati rispettivamente al cavo a prua, a spingere al centro sul fianco di dritta e al cavo a poppa. Il rimorchiatore da 50t è collegato al cavo al mascone di dritta. Il rimorchiatore alla spinta al centro nave passa al mascone di sinistra, per poi passare nuovamente nella posizione iniziale sul fianco di dritta. I rimorchiatori al mascone di dritta e quello di poppa tirano verso dritta al 70% della loro potenza. Il rimorchiatore al fianco di dritta spinge all'80% della potenza. Quando la LNGC è parallela al FSRU viene chiamato a lavorare prima il rimorchiatore alla spinta per aiutare l'avvicinamento ed infine i due rimorchiatori al cavo di prua e poppa per controllare la nave.	

ID MANOVRA DURATA	NAVE	CONDIZIONI METEOMARINE							TIPO MANOVRA	INGOMBRO	ACCOSTO- PARTENZA	TUGS e POTENZA		ESITO AL SIMULATORE
		VENTO		MARE			CORRENTE					n°	Taglia	
		Dir.	Vel.	Dir.	Alt.	Per.	Dir.	Vel.						
		[°N]	[kn]	[°N]	[m]	[s]	[°N]	[kn]				[-]	[t]	
L051 [22 min]	LNGC	135	15	135	1.5	6.5	270	0.5	A	FSRU	Fianco di dritta FSRU	3	70	<p>MANOVRA RIUSCITA</p> <p>LNGC in arrivo da SW entra nell'area Charlie con velocità di circa 5kn. I rimorchiatori da 70t sono posizionati rispettivamente al cavo a prua, al cavo a poppa e al mascone di sinistra. Il rimorchiatore al mascone di sinistra spingere al 50% della sua potenza. Il rimorchiatore di poppa insieme al rimorchiatore di prua tira per far evolvere la nave. Il rimorchiatore alla spinta passa al fianco di dritta e spinge al 90% della potenza. Successivamente il rimorchiatore di prua viene messo in bando e gli altri due rimorchiatori assistono la LNGC nell'affiancarsi parallela alla FSRU. Nelle fasi finali dell'accosto il rimorchiatore alla spinta avvicina la nave mentre i rimorchiatori al tiro la controllano. La manovra si conclude con la LNGC affiancata e parallela al rigassificatore.</p>
L060 [10 min]	LNGC	135	30	135	2	6.5	0	0	P	FSRU	Fianco di dritta FSRU	2	70	<p>MANOVRA RIUSCITA</p> <p>I due rimorchiatori da 70t sono posizionati rispettivamente al cavo a prua e al cavo di poppa e angolati verso fuori a traverso. Entrambi tirano per scostare la LNGC dal FSRU. Quando la nave si è distanziata di circa 100 m dal fianco del FSRU libera i rimorchiatori e da macchina avanti. La manovra si conclude con LNGC in uscita dall'area Charlie libera di navigare.</p>
L070 [26 min]	LNGC	200	15	200	1.5	6.5	0	0	A	FSRU	Fianco di dritta FSRU	3	70	<p>MANOVRA RIUSCITA</p> <p>LNGC in arrivo da SW con i tre rimorchiatori da 70t collegati rispettivamente al cavo a prua e a poppa e uno alla spinta sul fianco sinistro. Il rimorchiatore alla spinta lavora al 100% della potenza mentre quelli al cavo tirano al traverso per aiutare l'evoluzione della LNGC verso dritta fino a che essa non si trova parallela alla FSRU. Il rimorchiatore sul fianco sinistro passa poi sul fianco di dritta per spingere e avvicinare la nave alla FSRU. La nave con l'aiuto del rimorchiatore alla spinta e quello di poppa si posiziona parallela alla FSRU. A circa 100m di distanza dalla FSRU il rimorchiatore di poppa viene fermato e posizionato quasi al traverso fuori. Rimane in tiro solo il rimorchio alla spinta che aiuta l'avvicinamento tra le due unità. La manovra si conclude con la LNGC affiancata e parallela al rigassificatore.</p>
L080 [28 min]	LNGC	200	20	200	2	6.5	0	0	A	FSRU	Fianco di dritta FSRU	4	1x50 3x70	<p>MANOVRA RIUSCITA</p> <p>LNGC in arrivo da SW con velocità di 6kn circa. Il rimorchiatore da 50t è collegato al cavo a prua invece i rimorchiatori da 70t sono posizionati al cavo al mascone di dritta e al cavo a poppa e uno a spingere sul fianco sinistro. Il rimorchiatore di prua si posiziona 45° a dritta e il rimorchiatore a poppa al traverso. Il rimorchiatore sul fianco sinistro passa sul fianco di dritta. La LNG una volta davanti alla prua della FSRU inizia l'evoluzione per posizionarsi parallela alla stessa e poi procedere a marcia indietro per affiancarsi. I rimorchiatori a prua e inizialmente quello a poppa tirano per aiutare l'evoluzione. Infine, per accostare la nave il rimorchiatore sul fianco destro spinge a tutta potenza. Il rimorchiatore alla spinta e quello a poppa lavorano per affiancare la LNGC al FSRU. Il rimorchiatore a poppa passa a traverso fuori. La manovra si conclude con la LNGC affiancata e parallela al rigassificatore.</p>

ID MANOVRA DURATA	NAVE	CONDIZIONI METEOMARINE							TIPO MANOVRA	INGOMBRO	ACCOSTO- PARTENZA	TUGS e POTENZA		ESITO AL SIMULATORE
		VENTO		MARE			CORRENTE					n°	Taglia	
		Dir.	Vel.	Dir.	Alt.	Per.	Dir.	Vel.						
		[°N]	[kn]	[°N]	[m]	[s]	[°N]	[kn]				[-]	[t]	
L090 [11 min]	LNGC	200	15	200	1.5	6.5	0	0	P	FSRU	Fianco di dritta FSRU	2	1x50 1x70	MANOVRA RIUSCITA La manovra è stata eseguita in orario NOTTURNO . Il rimorchiatore da 50t è posizionato al cavo a prora e il rimorchiatore da 70t al cavo a poppa. Entrambi tirano a traverso verso fuori. Una volta che la nave si è distaccata dalla FSRU rimorchiatore di prora si angola 45° verso dritta e il rimorchiatore di poppa viene messo in bando. Quando la LNGC è a circa 100m dalla FSRU i rimorchiatori vengono liberati e la nave si dirige al di fuori dell'area Charlie.
L100 [11 min]	LNGC	200	30	200	2.5	6.5	0	0	P	FSRU	Fianco di dritta FSRU	2	70	MANOVRA RIUSCITA I due rimorchiatori da 70t sono posizionati rispettivamente al cavo a prora e al cavo a poppa, angolati a traverso verso fuori. Entrambi tirano a 50% della loro potenza per scostare la nave dal rigassificatore. Quando la distanza fra le due navi è di circa 120m i rimorchiatori vengono liberati e la LNGC si dirige verso l'uscita dell'area Charlie.
L110 [11 min]	LNGC	315	35	315	1	6.5	270	0.5	P	FSRU	Fianco di dritta FSRU	2	70	MANOVRA RIUSCITA I due rimorchiatori da 70t sono posizionati rispettivamente al cavo a prora e al cavo a poppa, angolati a traverso verso fuori. Entrambi tirano per scostare la LNGC con un massimo di potenza dell'80%. Quando la nave, distanziata di circa 100m dalla FSRU, si muove marcia indietro e con l'ausilio dei rimorchiatori evolve a sinistra fin quando la prua non è orientata a circa 45°N. I rimorchiatori vengono liberati e la nave si dirige fuori dall'area Charlie.
L120 [20 min]	LNGC	135	20	135	2	6.5	270	0.5	A	FSRU	Fianco di dritta FSRU	3	2x90 1x70	MANOVRA RIUSCITA La manovra inizia con i due rimorchiatori da 90t collegati al cavo, rispettivamente a prua e poppa, e quello da 70t alla spinta al centro nave. La LNGC entra nell'area Charlie a una velocità superiore ai 5 kn. Il rimorchiatore a prua inizia a tirare a traverso verso dritta per iniziare a evolvere, mentre il rimorchiatore a centro nave inizia a spingere per contenere lo scarroccio. Il rimorchiatore di poppa invece si posiziona a traverso verso sinistra e aiuta l'evoluzione. Il rimorchiatore a centro nave passa dal fianco sinistra a quello di dritta. Successivamente il rimorchiatore a poppa passa da traverso a sinistra a traverso a dritta e aiuta la LNG ad affiancarsi alla FSRU. Il rimorchiatore a centro nave spinge la LNG verso la FSRU. La manovra si conclude con la LNGC affiancata e parallela al rigassificatore.

ID MANOVRA DURATA	NAVE	CONDIZIONI METEOMARINE								TIPO MANOVRA	INGOMBRO	ACCOSTO- PARTENZA	TUGS e POTENZA		ESITO AL SIMULATORE
		VENTO			MARE			CORRENTE					n°	Taglia	
		Dir.	Vel.		Dir.	Alt.	Per.	Dir.	Vel.						
		[°N]	[kn]		[°N]	[m]	[s]	[°N]	[kn]						
L130 [28min]	LNGC	135	15		135	2	6.5	270	0.5	A	FSRU	Fianco di dritta FSRU	4	3X70 1X50	<p>AVARIA GESTITA IN SICUREZZA</p> <p>La manovra inizia con tre rimorchiatori da 70 t posizionati a prua al cavo, al mascone di dritta al cavo, e sul fianco sinistro a spingere. Il rimorchiatore da 50 t è posizionato al cavo a poppa. La nave entra nell'area Charlie con velocità di circa 4 kn. Il rimorchiatore di poppa passa a traverso a sinistra nave. Tutti i rimorchiatori lavorano per assistere l'evoluzione e il rimorchiatore a centro nave lavora al 100% della sua potenza. In seguito il rimorchiatore a centro nave ferma la spinta e passa a dritta, il rimorchiatore di prua è messo in bando e il rimorchiatore a poppa passa dal tiro a sinistra al dritto di poppa. Il rimorchiatore a poppa tira la nave indietro e i rimorchiatori al tiro a prua vengono fermati entrambi. Al minuto 18 circa viene simulata <u>un'avaria all'apparato propulsivo</u> della LNGC. Il rimorchiatore a centro nave passa dal fianco di dritta al mascone di sinistra a spingere e il rimorchiatore al cavo a poppa passa sul fianco di sinistra a poppa nave. A causa dell'avaria la LNGC decide di abbandonare l'operazione di accosto alla FSRU. <u>La nave impiega circa 5 minuti per rallentare.</u> Non sono emerse interferenze con la FSRU.</p>

Tab. 6-1 Sintesi delle manovre effettuate con la LNG Carrier

6.2.1 C010 – Test

ID MANOVRA DURATA	NAVE	CONDIZIONI METEOMARINE							TIPO MANOVRA	INGOMBRO	TUGS e POTENZA	
		VENTO		MARE			CORRENTE				n°	Taglia
		Dir.	Vel.	Dir.	Alt.	Per.	Dir.	Vel.				
		[°N]	[kn]	[°N]	[m]	[s]	[°N]	[kn]				
C010 [5 min]	Container Ship 366m	135	20	135	2	6.5	270	0.5	P	FSRU LNGC	-	-

A monte della scelta dell'unità navale selezionata per effettuare il test sopra descritto vi è stata un confronto collegiale in cui sono state verificate le tipologie di navi tipiche del traffico dell'area portuale di Vado Ligure. Di fatti, le più comuni sono le unità di tipo Tanker, Ferry e Portacontainer.

La *tanker* non è stata scelta come nave da simulare in quanto quest'ultima quando transita nell'area oggetto di studio mantiene velocità basse ed è sempre assistita dai rimorchiatori. Da queste informazioni emerge che la nave, anche in caso di failure/imprevisti, ha un supporto pronto ad intervenire nonché le velocità usuali permetterebbero l'arresto in spazi e tempi contenuti.

Il *ferry* e *Portacontainer di stazza ridotta* sono stati esclusi come unità da simulare perché, comparate con *Portacontainer di stazza elevata*, presentano stazza e geometria minore, superficie esposta inferiore, caratteristiche manovriere più performanti grazie anche alla configurazione propulsiva.

Tutto ciò comporta che *ferry* e *Portacontainer di stazza ridotta* sono soggetti, rispetto alla *portacontainer* e a parità di condizioni meteo marine, a forze di intensità minori e capacità di contrastarle maggiori.

Le considerazioni di cui sopra hanno determinato la scelta di un'unità *portacontainer di stazza elevata* come unità test da simulare. In particolare, è stata simulata un'unità del tipo *Container Ship* lunga 366 m con capacità 13000 TEU.

La manovra è stata effettuata replicando la partenza abituale della nave dal Terminal Container APM in modo da poter valutare le eventuali interferenze tra il traffico commerciale del Porto di Vado Ligure e l'ormeggio del FSRU presso l'area Charlie.

La configurazione simulata è stata scelta in maniera tale che lo scenario risultasse conservativo in confronto a quello reale. Le condizioni meteo selezionate sono severe e non ottimali per la manovrabilità, l'unità scelta è di dimensioni maggiori e manovrabilità limitata rispetto all'abituale traffico odierno e il layout portuale comprende tutti gli ingombri principali, presenti e futuri, come: la nuova diga del Porto di Vado Ligure nella sua fase finale (denominata "fase 2"), il campo boe per le navi

petroliere del terminal SARPOM e l'area adibita alla costruzione dei cassoni destinati alla costruzione della nuova diga del Porto di Genova in testata alla piattaforma. Inoltre, nonostante ad oggi le navi come quella utilizzata durante la manovra in Porto siano obbligate a richiedere il servizio dei rimorchiatori, tale elemento, che aiuta ad aumentare il margine di sicurezza dell'operazione, non è stato preso in considerazione.

La rappresentazione del layout portuale utilizzato è riportata in Fig.6-2.

La manovra inizia, in accordo con i Piloti, con la nave orientata con prua verso $45^{\circ}N$ alla velocità di 2.5kn, in assenza di rimorchiatori. Durante lo svolgimento della manovra, quando la nave raggiunge angolo di prua di circa $80^{\circ}N$ risulta libera dall'ingombro creato da FSRU e LNGC, mentre a circa $100^{\circ}N$ la rotta risulta tangente all'area di ancoraggio Charlie. Di conseguenza, la nave deve eseguire una variazione di rotta di circa 55° per potersi considerare libera dall'area di ancoraggio Charlie. Tale variazione, secondo quanto sottolineato dal gruppo di lavoro, è compatibile con le unità navali di questa tipologia e dimensione e gli spazi di manovra a disposizione, garantendo ampi margini per lo svolgimento dell'evoluzione.

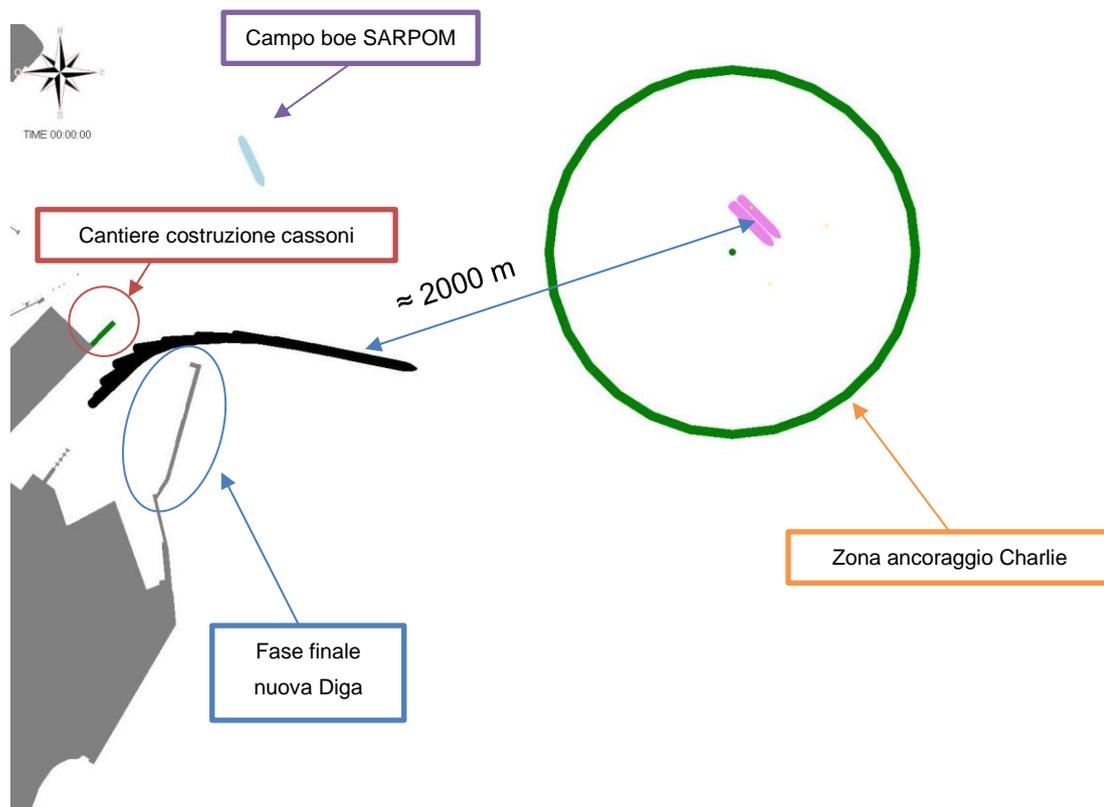


Fig. 6-3 C010 - Test

Al termine del test l'esito della manovra risulta positivo, infatti, la Container Ship nonostante l'assenza dell'ausilio dei rimorchiatori e le dimensioni notevoli, riesce ad uscire dall'area portuale senza difficoltà, considerando la futura configurazione e gli ingombri. Durante il transito la distanza

tra la nave e l'area d'ormeggio Charlie e di conseguenza dallo stesso rigassificatore, la quale posizione futura è decentrata rispetto al centro dell'area, risulta considerevole (superiore a un miglio nautico). Conseguentemente, come emerso dalla riunione collegiale, tale distanza appare proporzionata al tipo di nave e alle dimensioni, deducendone dunque che in caso di navi minori e più manovriere la distanza dal rigassificatore aumenterebbe, riducendo maggiormente la possibilità di interferenza con il terminal.

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; video di ogni test così come visualizzato sulla plancia 2D del WHALE; storie temporali di tutte le grandezze registrate.

Tutte le traiettorie delle manovre eseguite al simulatore vengono presentate in *APPENDICE A*, nelle varie condizioni meteomarine considerate.

Su ogni immagine viene rappresentata la traiettoria seguita dalla nave durante la simulazione tramite la stampa ad intervalli di tempo regolari della silhouette della nave, consentendo così di ricavare immediate informazioni circa la rotta seguita dalla stessa.

Oltre alla traiettoria, su tali immagini sono indicati:

- il Nord geografico, con sotto l'indicazione relativa alla nave utilizzata per la simulazione;
- il layout portuale (in **grigio**);
- la silhouette degli ingombri eventualmente presenti nell'area di manovra (in **rosa**);
- l'indicazione della direzione di provenienza e intensità del vento (indicata in **blu**), del moto ondoso (indicata in **verde**) e della corrente (indicata in **rosso**);
- la silhouette della nave (in **nero**; eventualmente in **rosso** in caso di urto);
- l'icona “” rappresentativa dell'utilizzo dell'ancora;
- il codice identificativo della manovra, insieme all'indicazione dell'esito della manovra stessa in forma visiva e scritta.

Per l'analisi particolareggiata di ciascuna traiettoria e della tecnica di manovra adottata, si rimanda agli **ALLEGATI** forniti assieme al presente rapporto tecnico (post-processing avanzato dei risultati, dove sono stati inclusi *i filmati delle manovre e le storie temporali di tutte le grandezze registrate*, es. utilizzo delle macchine, utilizzo dei thrusters, forza esercitata dal vento, velocità della nave, ecc.).

7 CONCLUSIONI

Il presente studio di manovrabilità Real-Time in ambientazione 3D ha esaminato le manovre simulate a largo del porto di Vado Ligure (SV), zona d'ancoraggio Charlie, da parte di CETENA S.p.A. per conto di Techfem S.p.A., relativamente alle operazioni *Ship to Ship* tra un'unità FSRU e un'unità LNG Carrier.

I test al simulatore di manovra Real-Time si sono svolti nel corso di 2 giornate di simulazione, 26 e 27 Settembre 2023, in presenza dell'intero gruppo di lavoro. In particolare, le manovre sono state eseguite dai Piloti del Corpo Piloti del Porto di Vado Ligure coadiuvati da un esperto esecutore messo a disposizione da CETENA e dal personale stesso CETENA.

Il principale obiettivo di questo studio al simulatore eseguito da CETENA è la fattibilità delle manovre di arrivo e partenza, al variare delle condizioni meteo marine tipiche dell'area, da parte in un'unità LNG Carrier rifornitrice presso un'unità di stoccaggio e rigassificazione (FSRU) galleggiante ormeggiata in rada, valutando la strategia e l'impiego, nonché la taglia, dei rimorchiatori ritenuti necessari allo svolgimento delle manovre in sicurezza.

Il presente studio è stato effettuato simulando un'unità LNG Carrier (300 m x 50 m) considerando due diverse immersioni, rispettivamente 12.5 m per la condizione di arrivo (full loaded) e 9.5 m per la condizione di partenza (ballast). Inoltre, è stata verificata la fattibilità della manovra di uscita dal porto di Vado Ligure da parte di un'unità Portacontainer. La FSRU è stata considerata ormeggiata tramite torretta a prua, libera di orientarsi a "bandiera" nelle varie condizioni meteomarine, controllando l'angolo di prua con il solo ausilio del thruster poppiero al fine di mantenere l'orientamento costante durante le fasi di avvicinamento o partenza della LNG Carrier. Nelle condizioni meteo marine considerate, il thruster di potenza pari a 2200 kW è in grado di controllare l'orientamento della nave, richiedendo potenze rilevanti nelle condizioni più severe.

Per quanto riguarda le condizioni meteomarine, nello studio è stato considerato vento proveniente da 135° N (Sirocco), 200° N (Libeccio) e 315°N (Maestrale) con intensità variabile tra i 15 e i 35 nodi di velocità. L'agitazione ondosa è stata considerata compresa tra 1 m e 2.5 m.

Dall'esito delle simulazioni di manovra svolte con la **LNG Carrier** si osserva che:

- le manovre di arrivo e affiancamento alla FSRU sono state portate a termine positivamente al simulatore anche in condizioni fino a 15kn di vento e 1.5m onda considerando l'ausilio dei rimorchiatori attualmente in dotazione presso il Porto di Vado Ligure in assistenza (3 x 70t e 1 x 50t), sviluppando l'intera fase di evoluzione all'interno dell'area di ancoraggio Charlie.
- le manovre di arrivo e affiancamento al terminal offshore sono state portate a termine positivamente al simulatore anche in condizioni fino a 20kn di vento e 2m onda considerando l'ausilio di tre rimorchiatori in assistenza (2 x 80t e 1 x 70t), sviluppando l'intera fase di evoluzione all'interno dell'area di ancoraggio Charlie. La configurazione con due rimorchiatori da 90t di Bollard Pull aumenta i margini di sicurezza.
- le manovre di partenza dalla FSRU sono state portate a termine positivamente al simulatore anche in condizioni meteo severe (fino a 30kn e Hs 2.5m) considerando l'ausilio di due rimorchiatori in assistenza (2 x 70t).

7.1 Riassunto delle manovre eseguite

Qui di seguito sono stati riportati i grafici che riassumono il lavoro svolto. Ogni grafico, paragonabile ad una “rosa dei venti”, distingue con cerchi concentrici l'intensità del vento applicato: allontanandosi dal centro del grafico (zona di calma e indicata con colore bianco), l'intensità del vento aumenta. Nei grafici seguenti si può osservare che, durante le simulazioni, è stato considerato il vento di:

- Scirocco per intensità da 15 kn a 30 kn per un totale di n° 10 manovre;
- Libeccio per intensità da 15 kn a 30 kn per un totale di n° 4 manovre;
- Maestrale per intensità da 15 kn a 35 kn per un totale di n° 4 manovre;

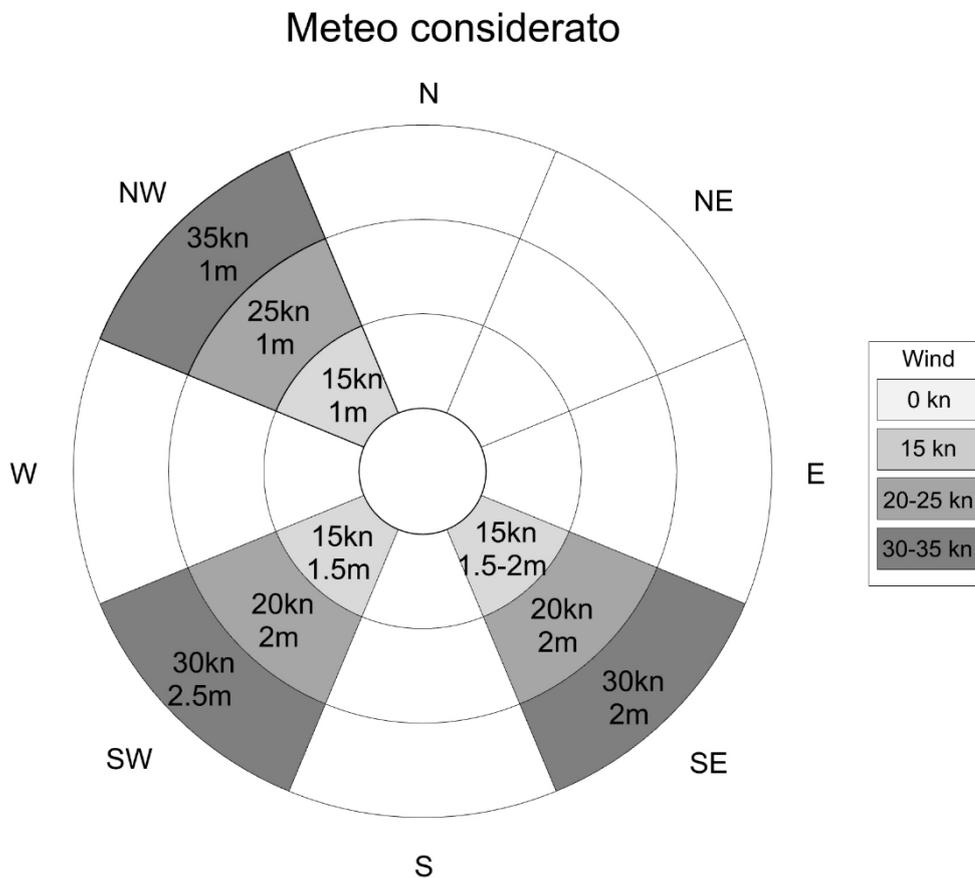


Fig. 7-1 - Venti ed intensità considerati durante le manovre

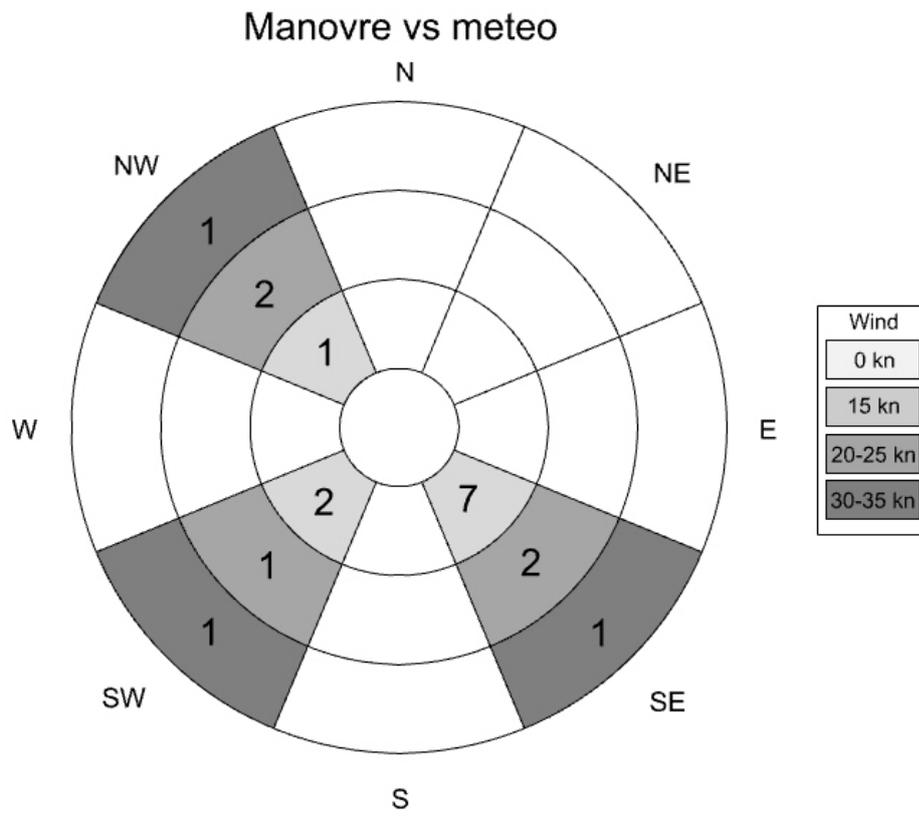


Fig. 7-2 - Numero di manovre associate a direzione e intensità di vento

7.2 In sintesi

Lo studio di manovrabilità affrontato al simulatore ha preso in considerazione condizioni meteorologiche critiche per la fattibilità delle manovre a largo del Porto di Vado Ligure (SV). Le simulazioni svolte sull'unità **LNG Carrier** hanno dimostrato la fattibilità delle manovre di arrivo e partenza dalla **FSRU** ormeggiata presso la zona di ancoraggio Charlie, evidenziando l'adeguatezza dello specchio acqueo per lo svolgimento delle manovre di queste unità.

Rimorchiatori

Dall'esito delle simulazioni emerge che la flotta dei rimorchiatori in dotazione all'interno del Porto di Vado Ligure, costituita da quattro rimorchiatori: tre da 70t di Bollard Pull e uno da 50t di Bollard Pull, risulta adatta al fine di garantire livelli di sicurezza adeguati alle unità in manovra relativamente ad un determinato range di condizioni meteo marine. Le flotte composte da rimorchiatori più potenti (2 x 80t e 1 x 70t oppure 2 x 90t e 1 x 70t) permettono, invece, di gestire con margini di potenza superiori condizioni severe.

Obiettivi raggiunti

Riprendendo gli obiettivi indicati nel Capitolo 1, si riassumono qui di seguito i risultati raggiunti:

- È stata valutata l'adeguatezza dello specchio acqueo a disposizione delle unità navali in termini di sicurezza della navigazione e di manovrabilità nelle condizioni meteorologiche considerate, al fine di compiere le manovre di arrivo e partenza al terminal offshore (v. Cap. 7);
- Sono state individuate le condizioni operative limite per lo svolgimento in sicurezza delle manovre di ingresso e uscita, anche con l'ausilio di rimorchiatori (Capitoli 6 e 7);
- Sono state fornite indicazioni sullo svolgimento delle manovre di ingresso/uscita e accosto delle navi e sulle strategie di manovra, tenendo in considerazione la presenza di altre navi ormeggiate e differenti condizioni meteo marine all'interno del porto (v. Cap. 6);
- È stata valutata l'adeguatezza dei rimorchiatori (per numero, tipologia e tiro massimo) necessari per la manovra in sicurezza della nave (v. Cap 7).

8 RIFERIMENTI

Rif. 1. Simulazioni di manovra FSRU Vado Ligure – Studio preliminare

“RTC_14981.pdf”

Fonte: CETENA

APPENDICI

APPENDICE A

TRACCIATI DELLE MANOVRE

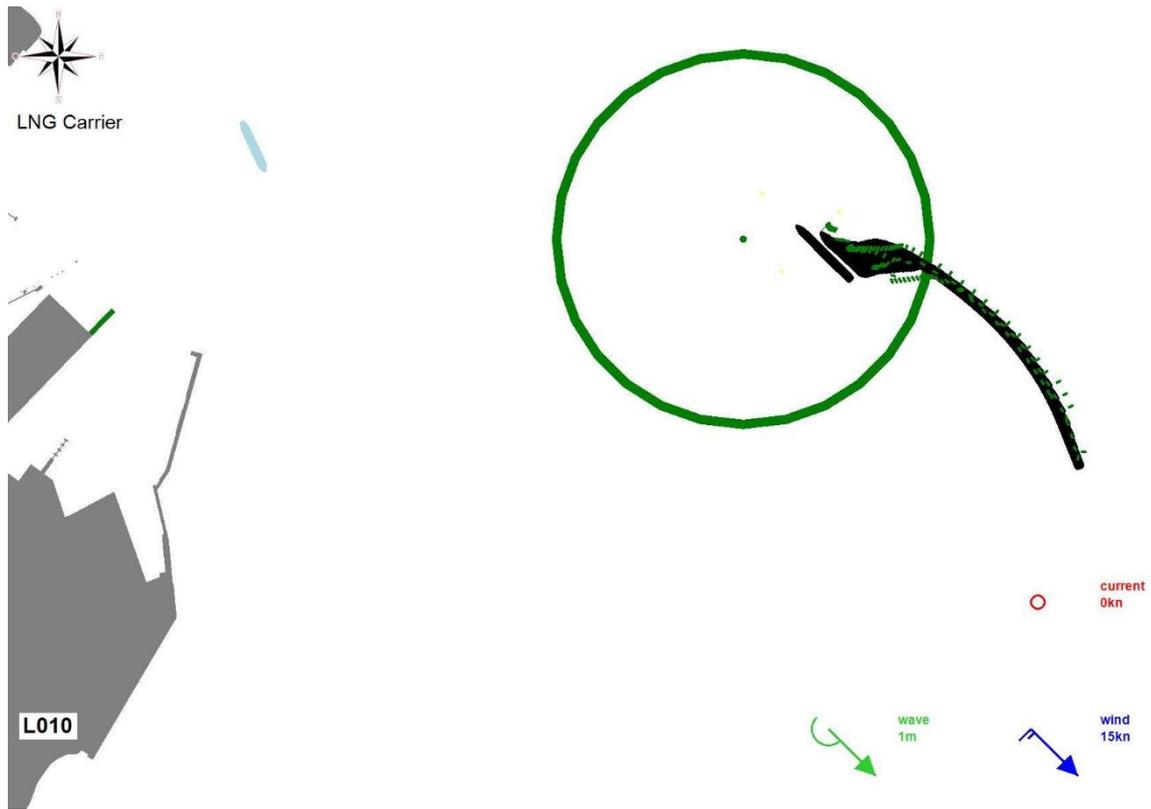


Fig. A - 1 – Manovra L010 – LNG Carrier - Arrivo
Maestrale 15 nodi.

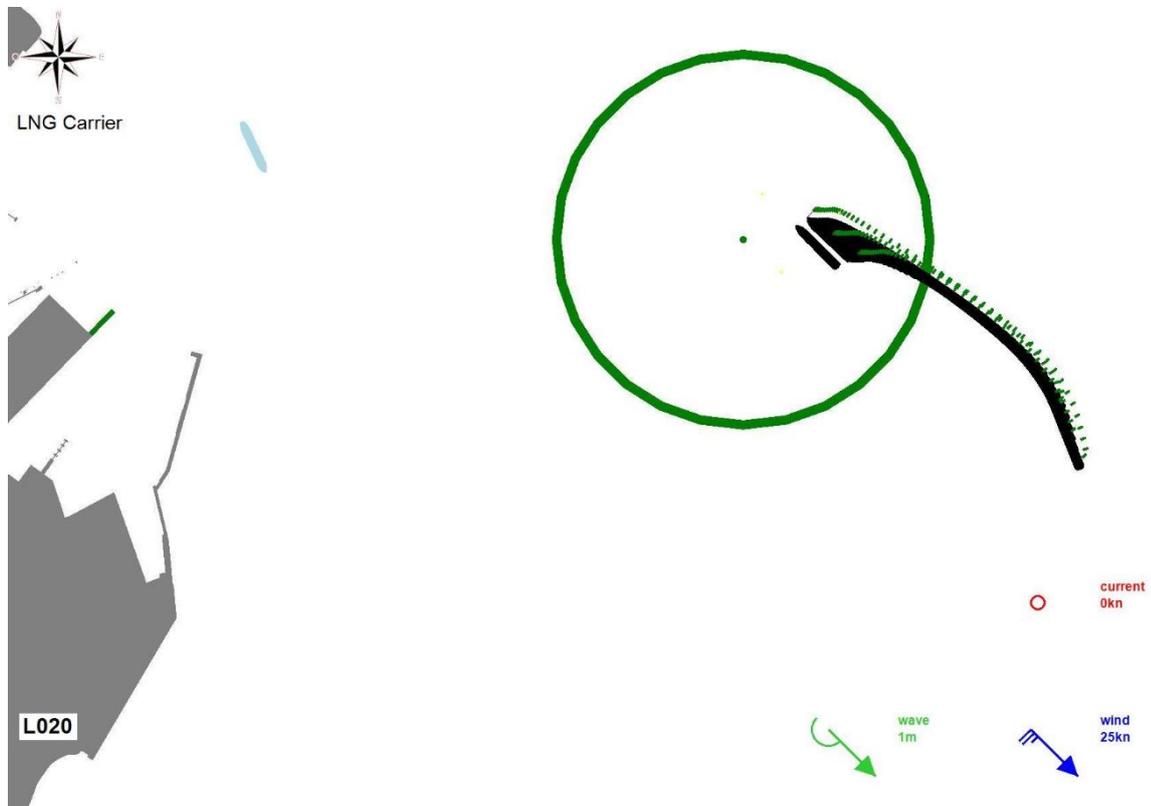


Fig. A - 2 – Manovra L020 – LNG Carrier - Arrivo
Maestrale 25 nodi.

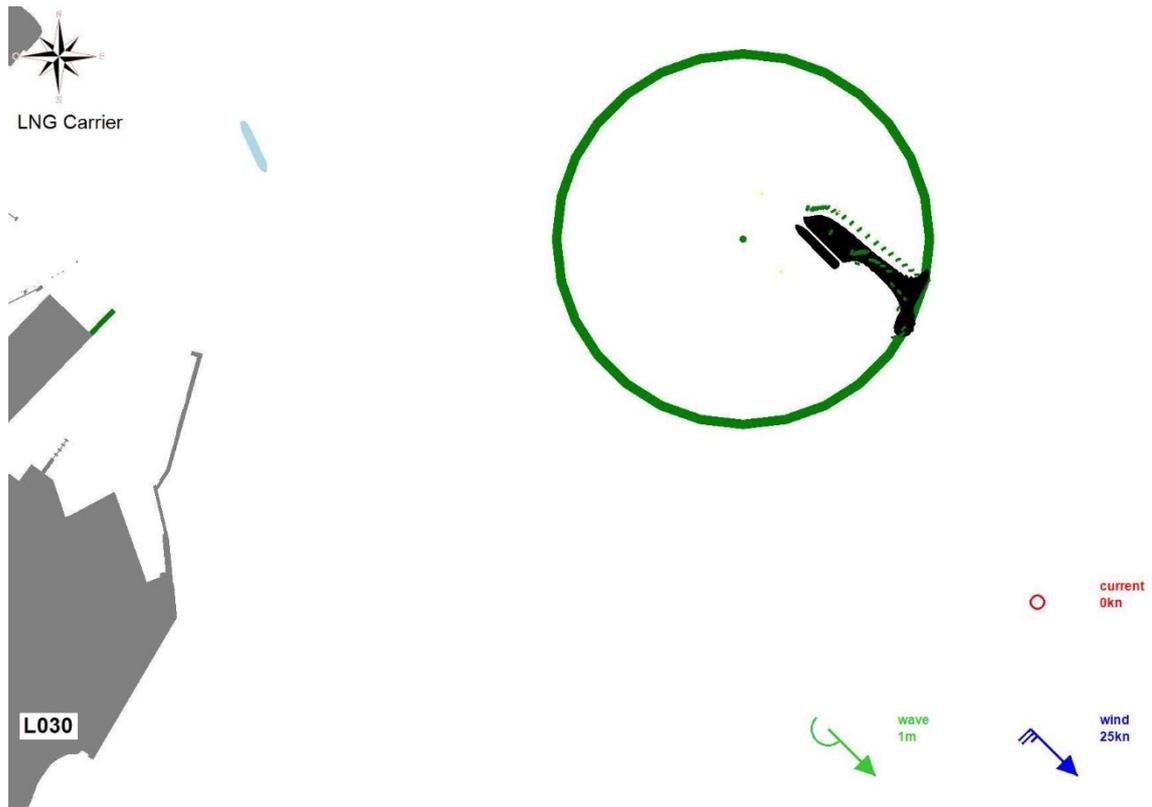


Fig. A - 3 – Manovra L030 – LNG Carrier - Partenza
Maestrale 25 nodi.

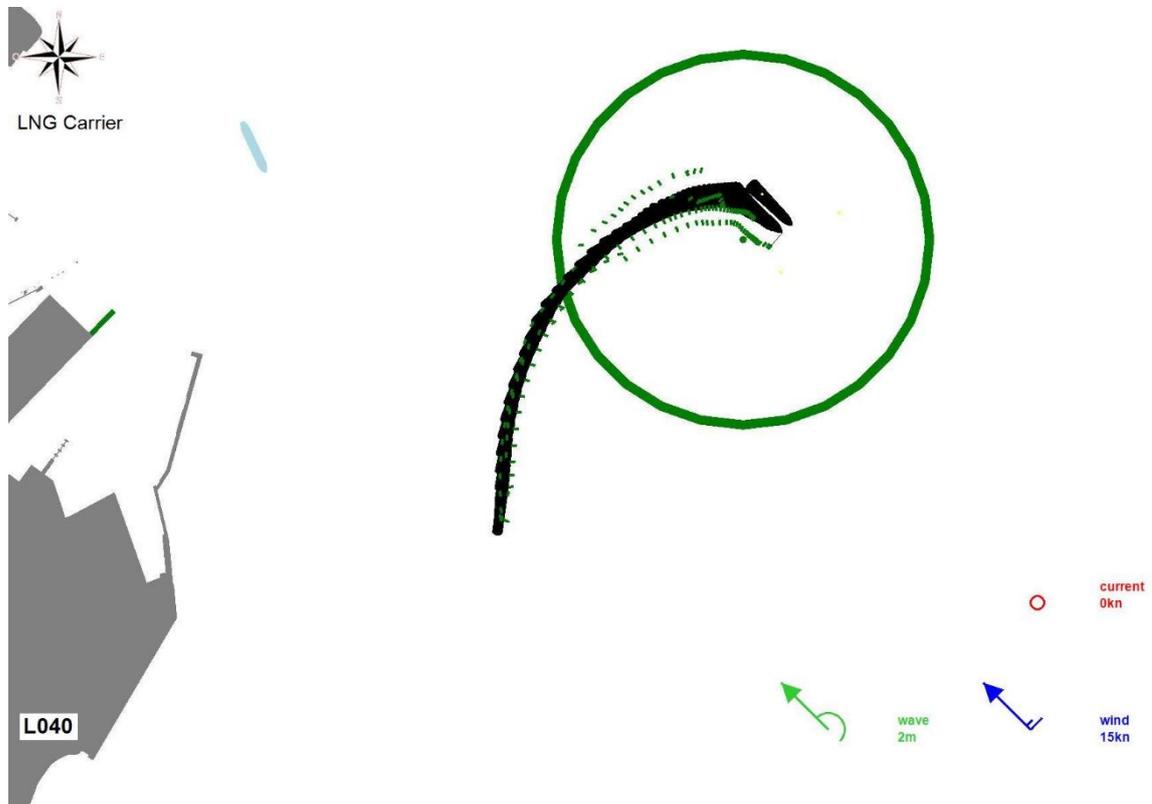


Fig. A - 4 – Manovra L040 – LNG Carrier - Arrivo
Scirocco 15 nodi.

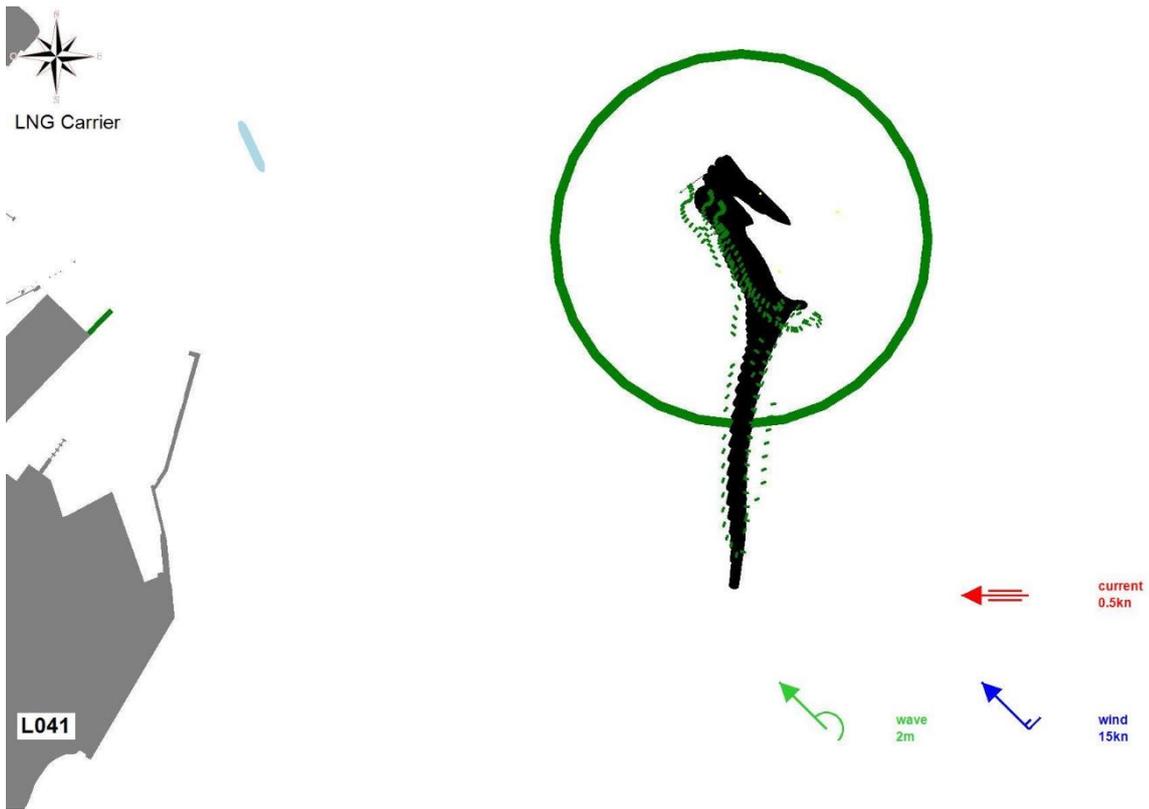


Fig. A - 5 – Manovra L041 – LNG Carrier - Arrivo
Scirocco 15 nodi.

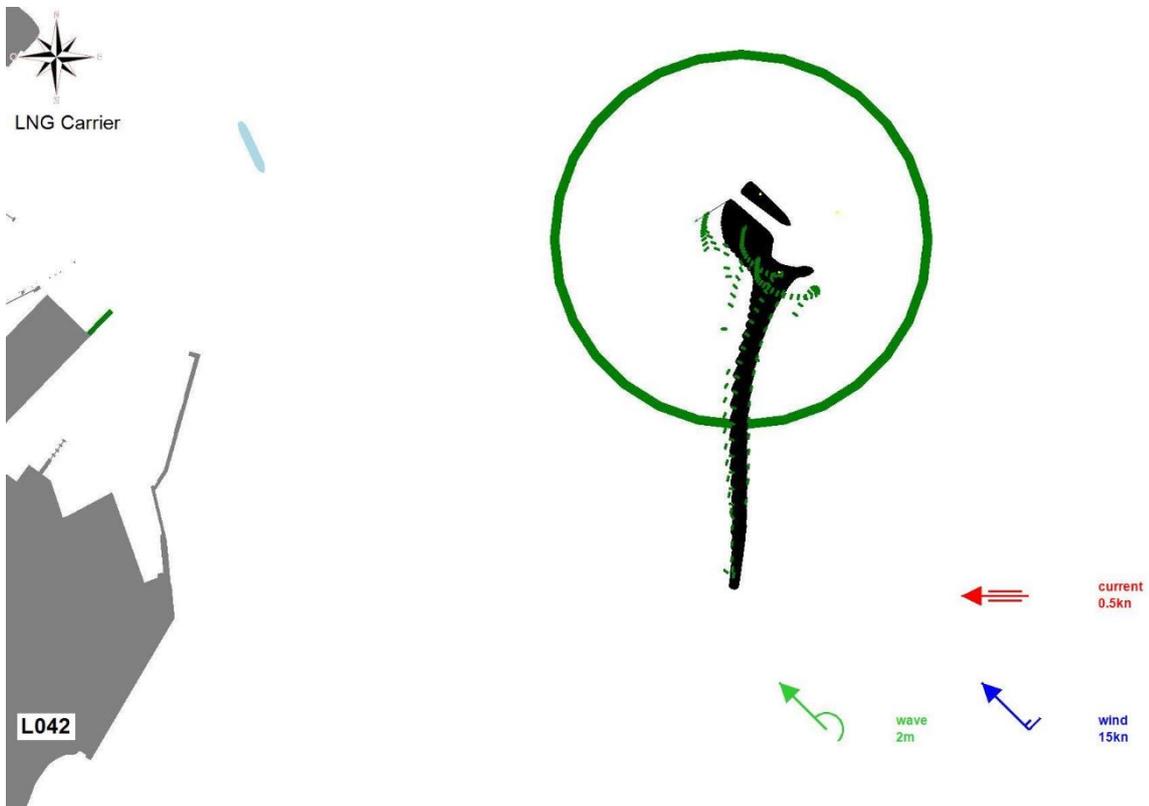


Fig. A - 6 – Manovra L042 – LNG Carrier - Arrivo
Scirocco 15 nodi.

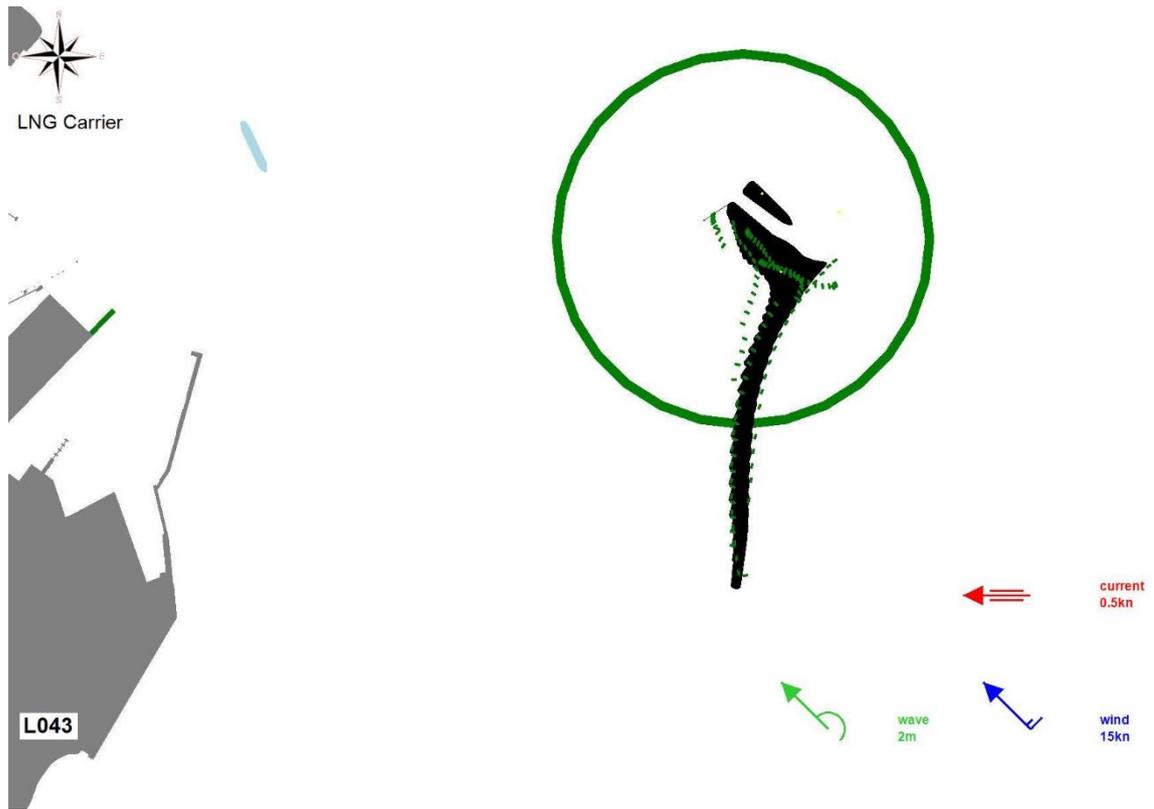


Fig. A - 7 – Manovra L043 – LNG Carrier - Arrivo
Sirocco 15 nodi.

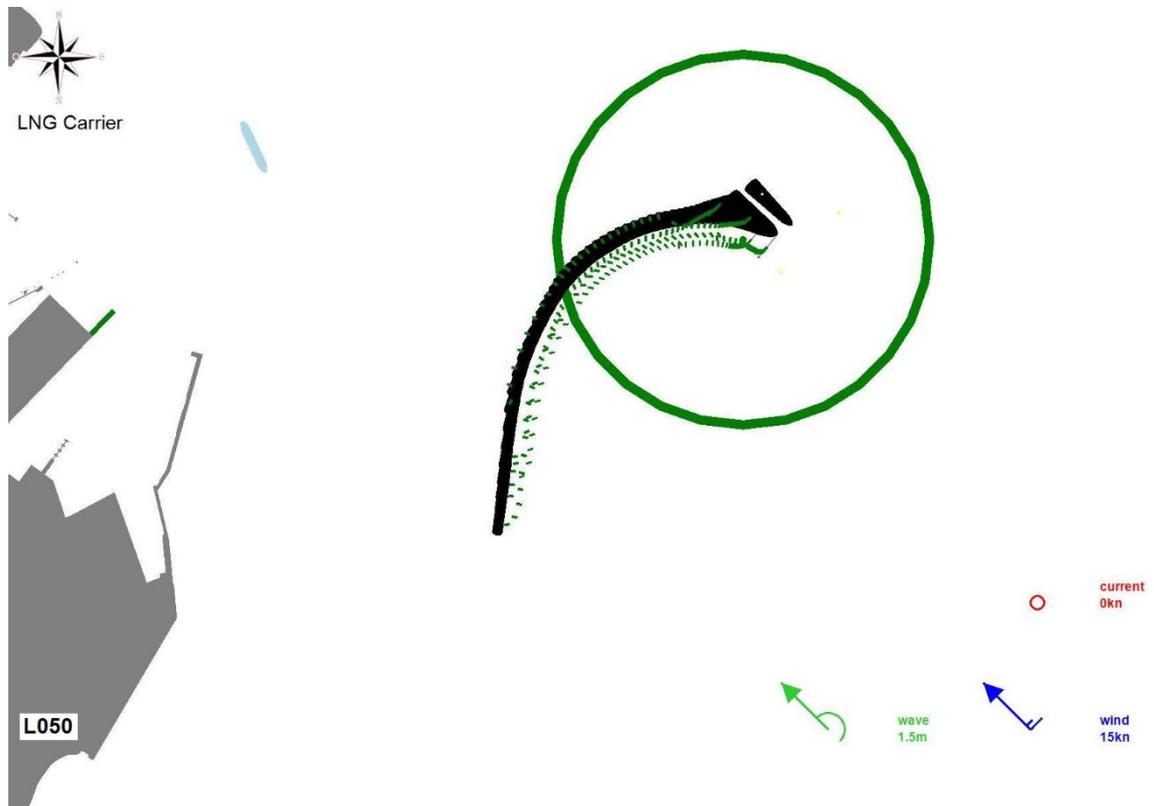


Fig. A - 8 – Manovra L050 – LNG Carrier - Arrivo
Sirocco 15 nodi.

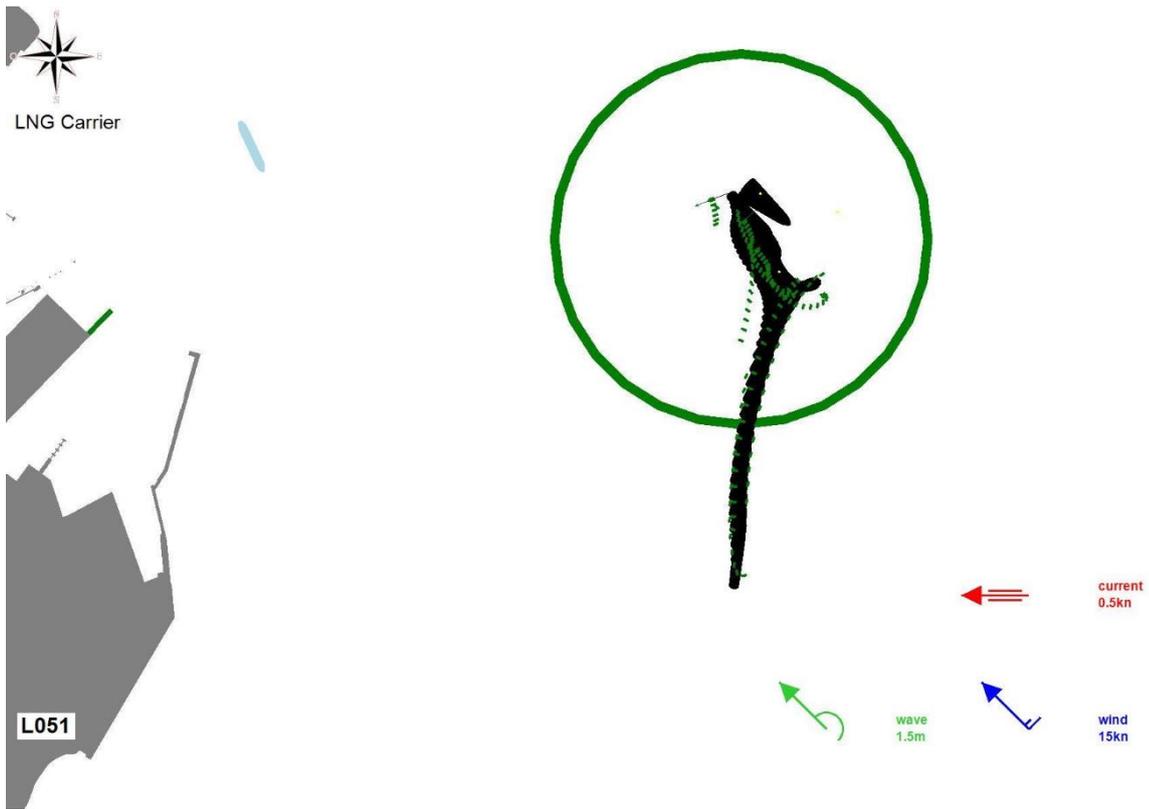


Fig. A - 9 – Manovra L051 – LNG Carrier - Arrivo
Scirocco 15 nodi.

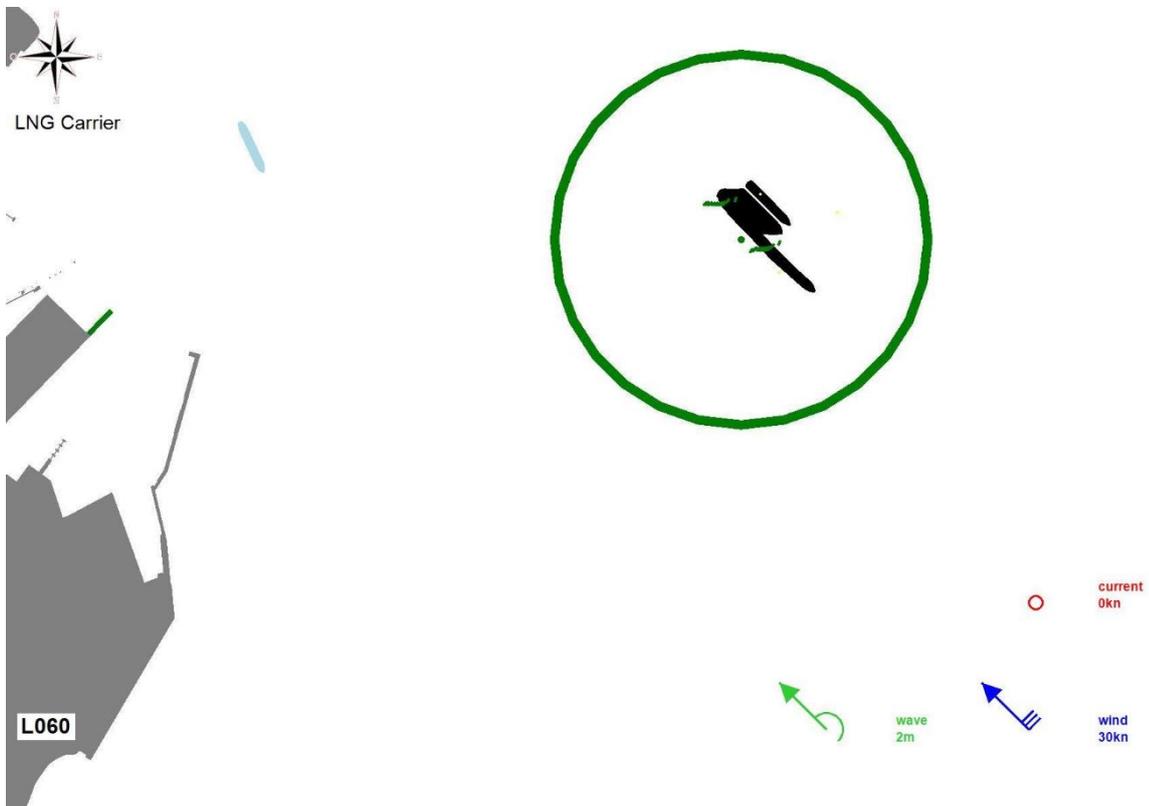


Fig. A - 10 – Manovra L060 – LNG Carrier - Partenza
Scirocco 30 nodi.

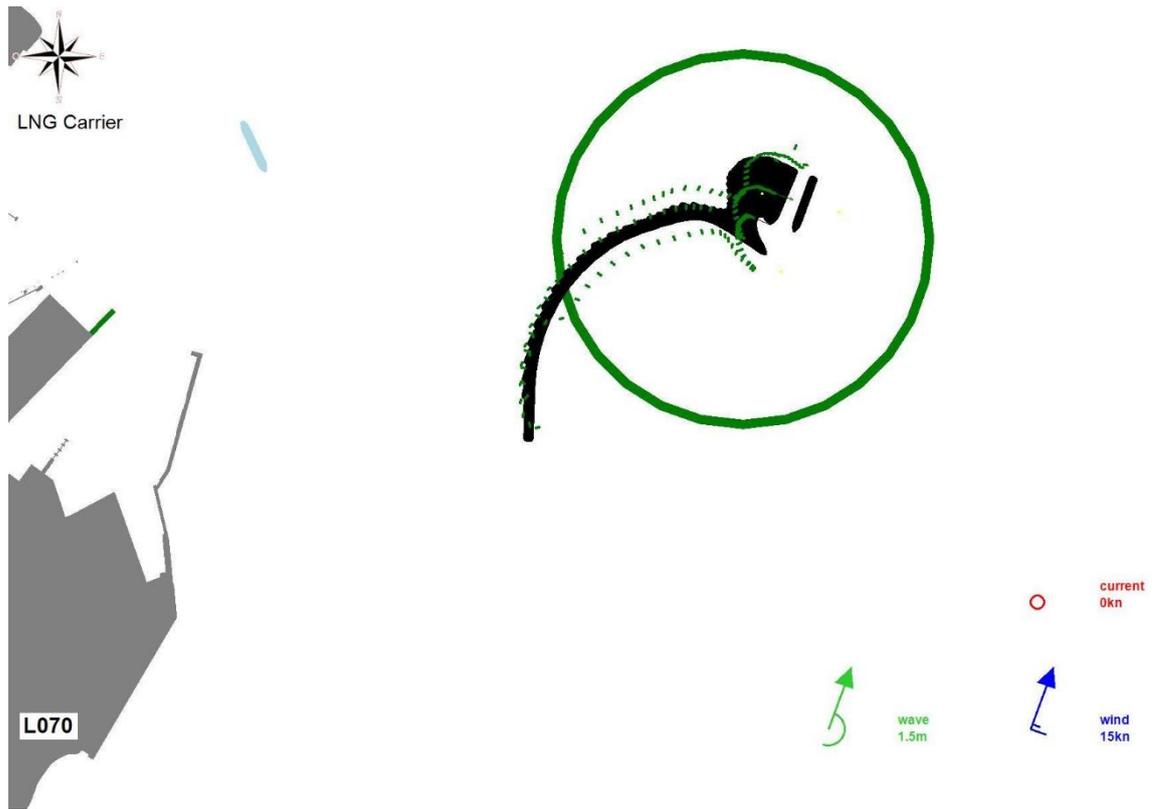


Fig. A - 11 – Manovra L070 – LNG Carrier - Arrivo
Libeccio 15 nodi.

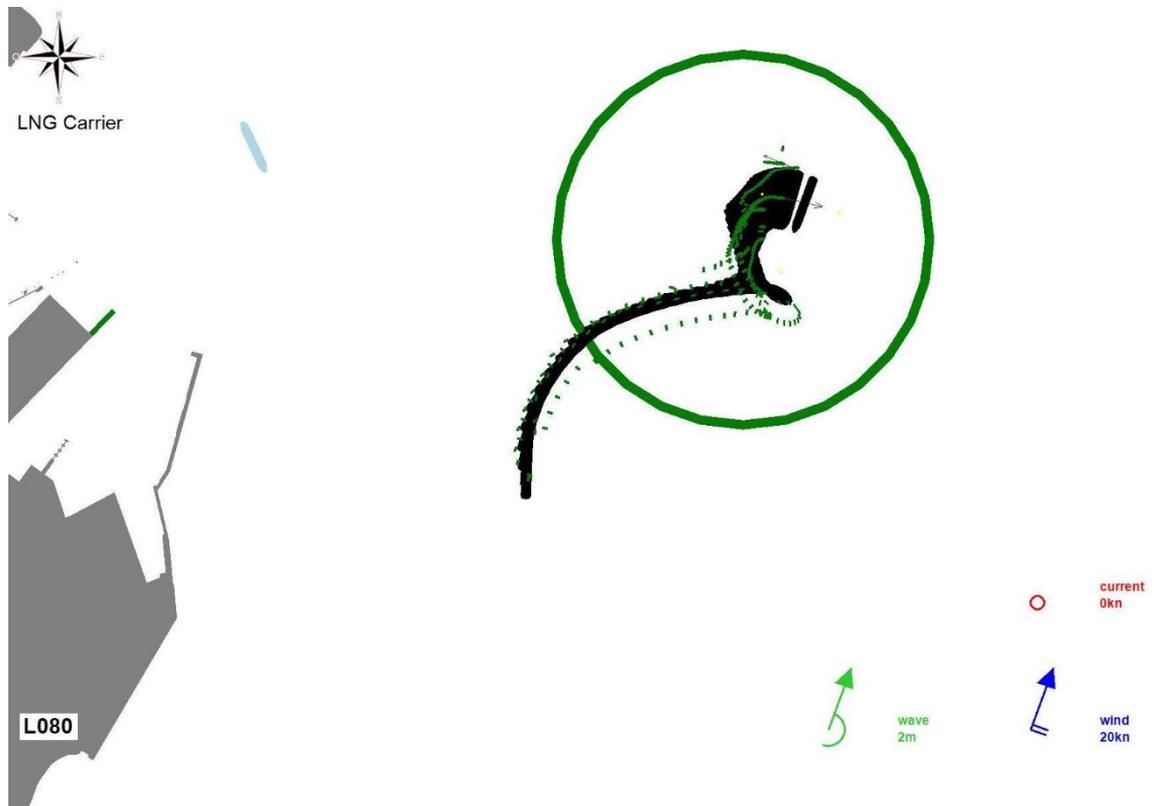


Fig. A - 12 – Manovra L080 – LNG Carrier - Arrivo
Libeccio 20 nodi.

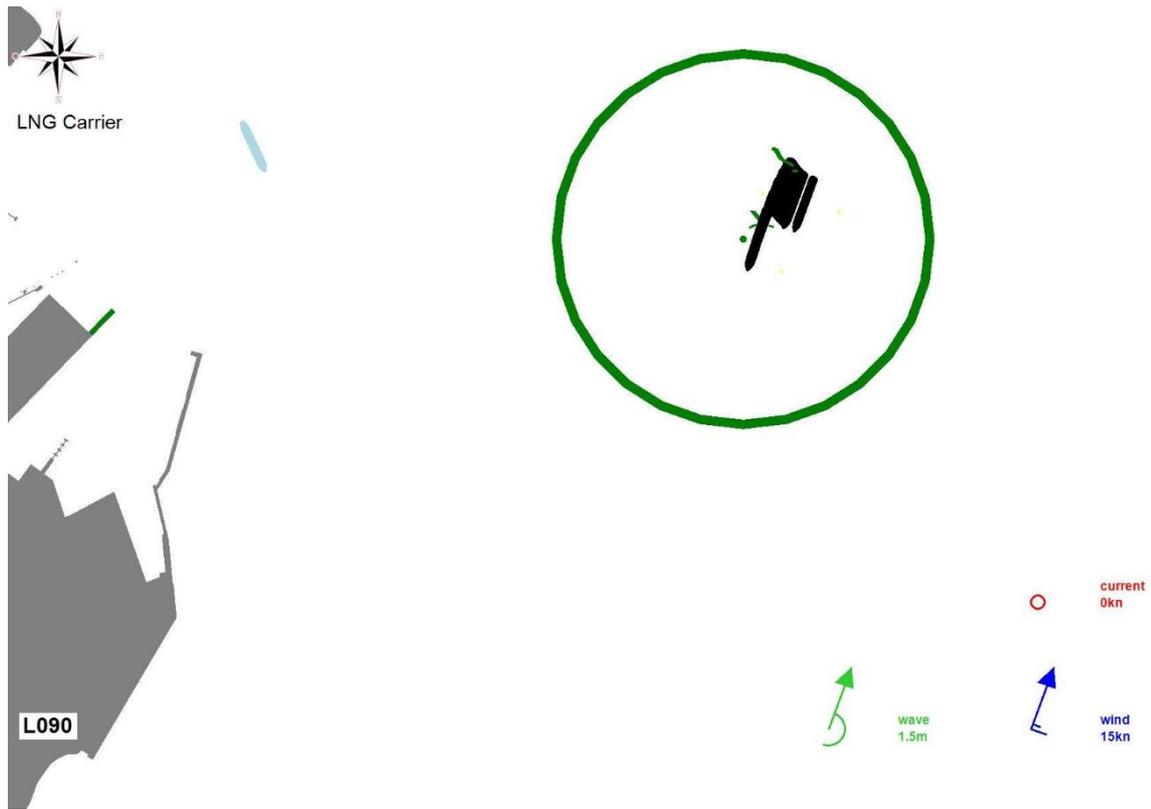


Fig. A - 13 – Manovra L090 – LNG Carrier - Partenza
Libeccio 15 nodi

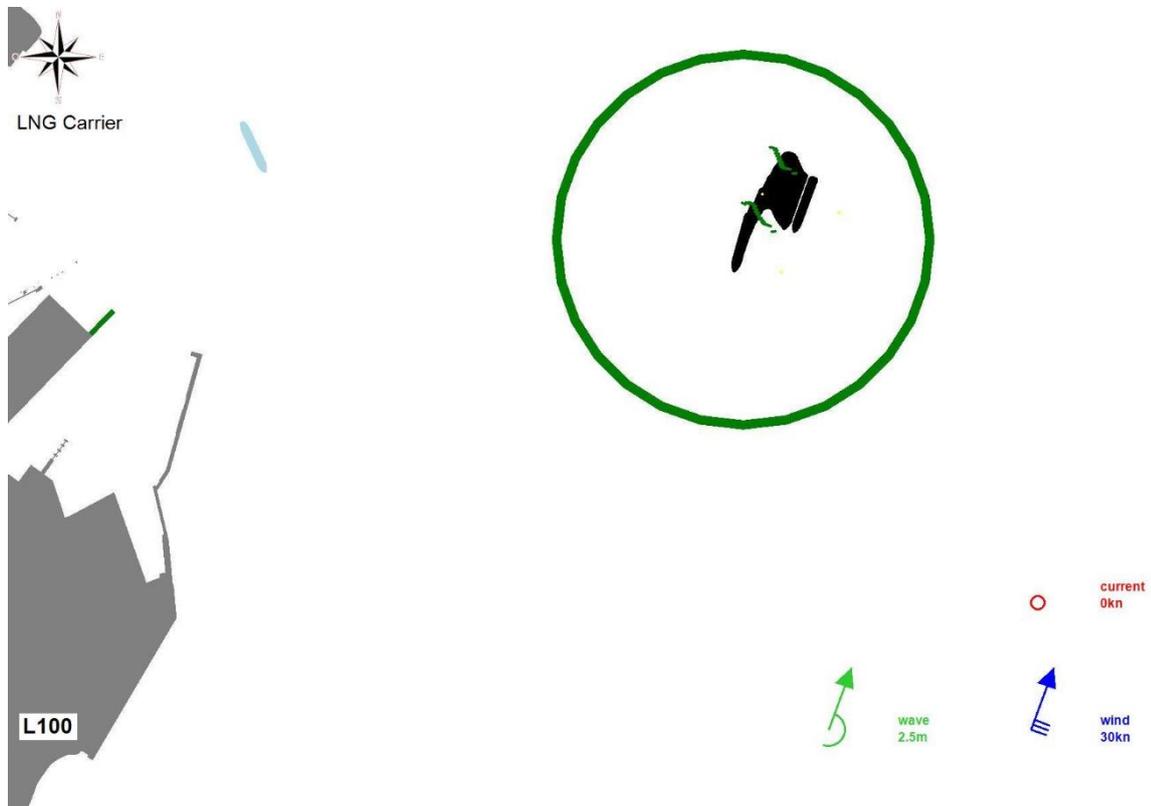


Fig. A - 14 – Manovra L100 – LNG Carrier - Partenza
Libeccio 30 nodi

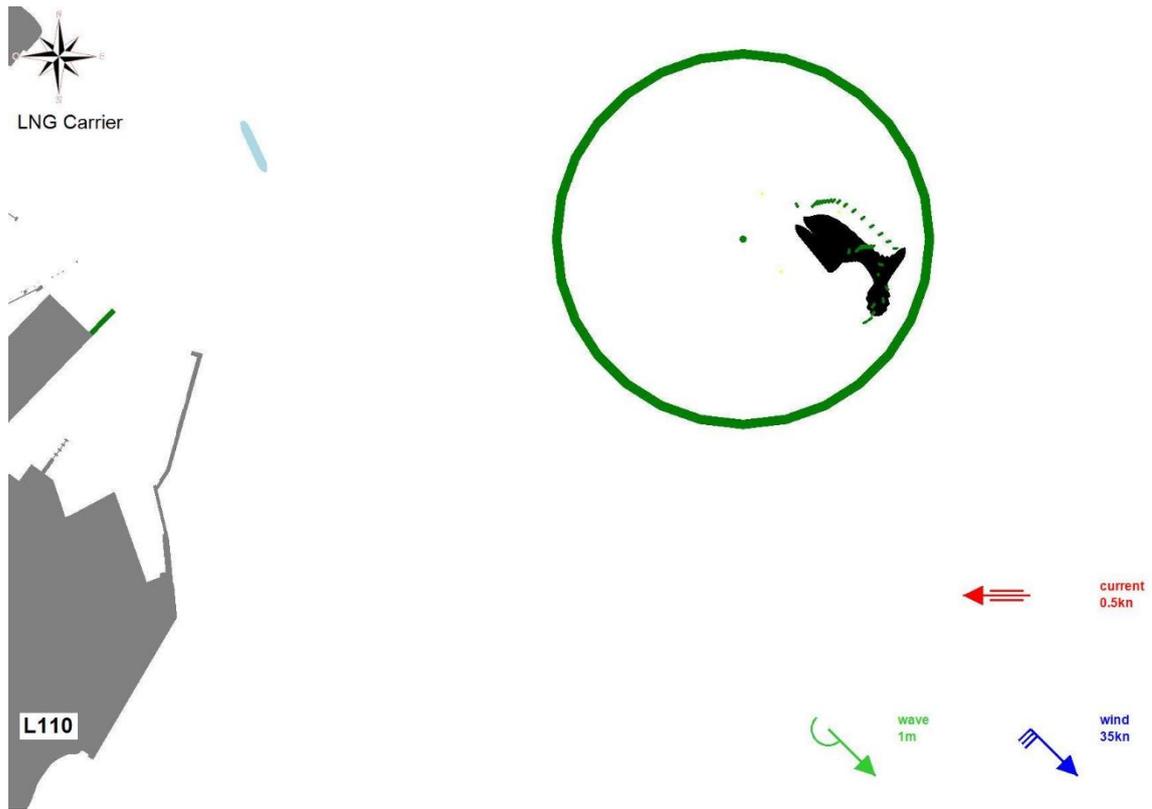


Fig. A - 15 – Manovra L110 – LNG Carrier - Partenza
Maestrale 35 nodi

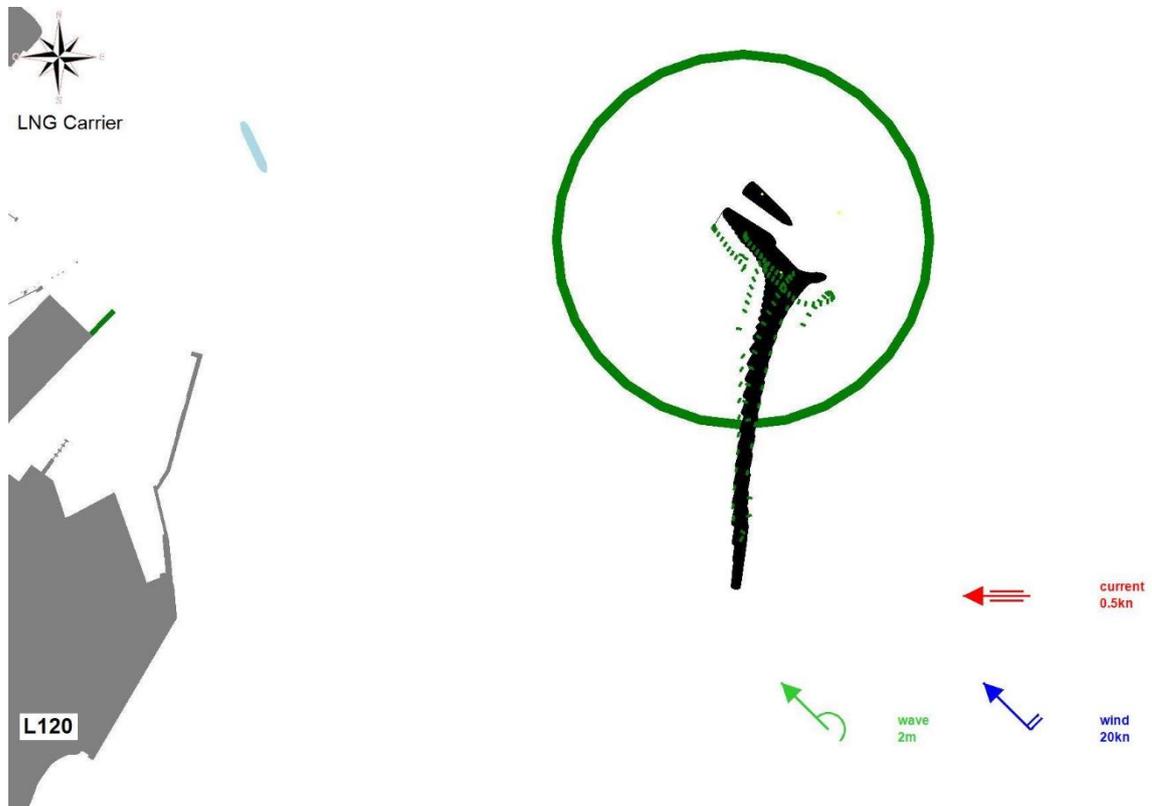


Fig. A - 16 – Manovra L120 – LNG Carrier - Arrivo
Scirocco 20 nodi

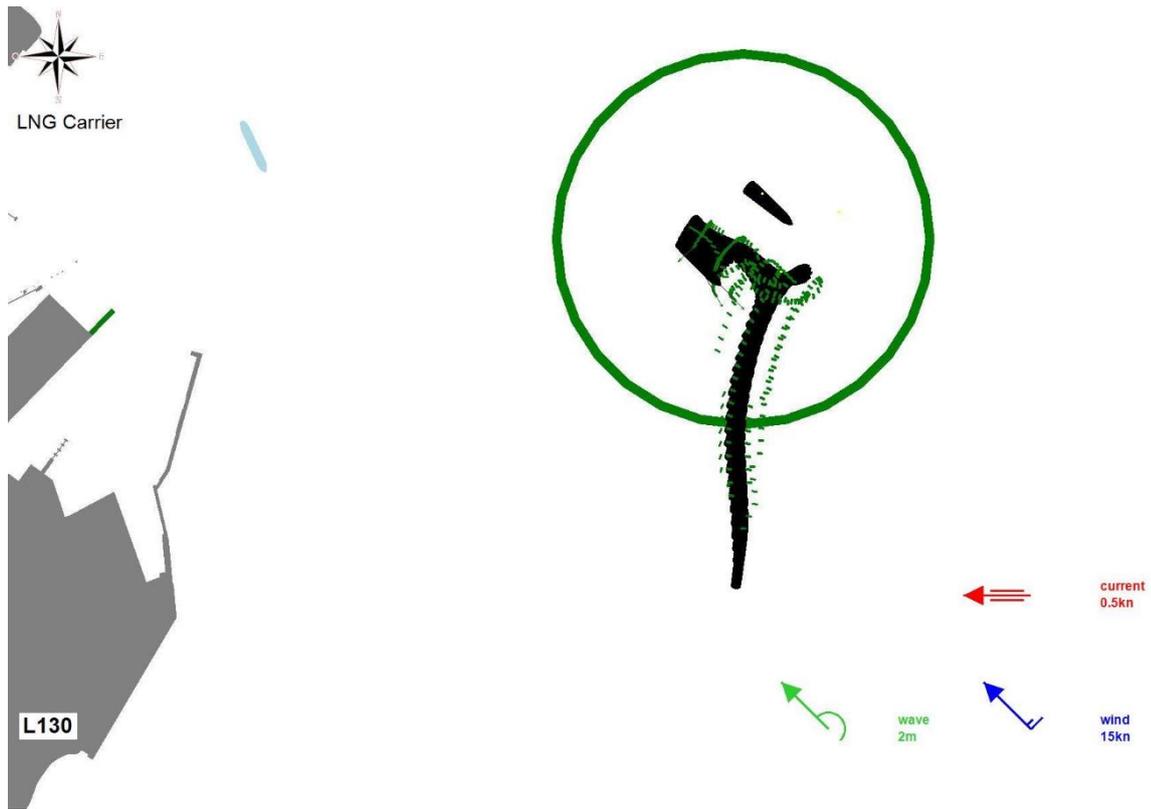


Fig. A - 17 – Manovra L130 – LNG Carrier - Arrivo
Sirocco 15 nodi

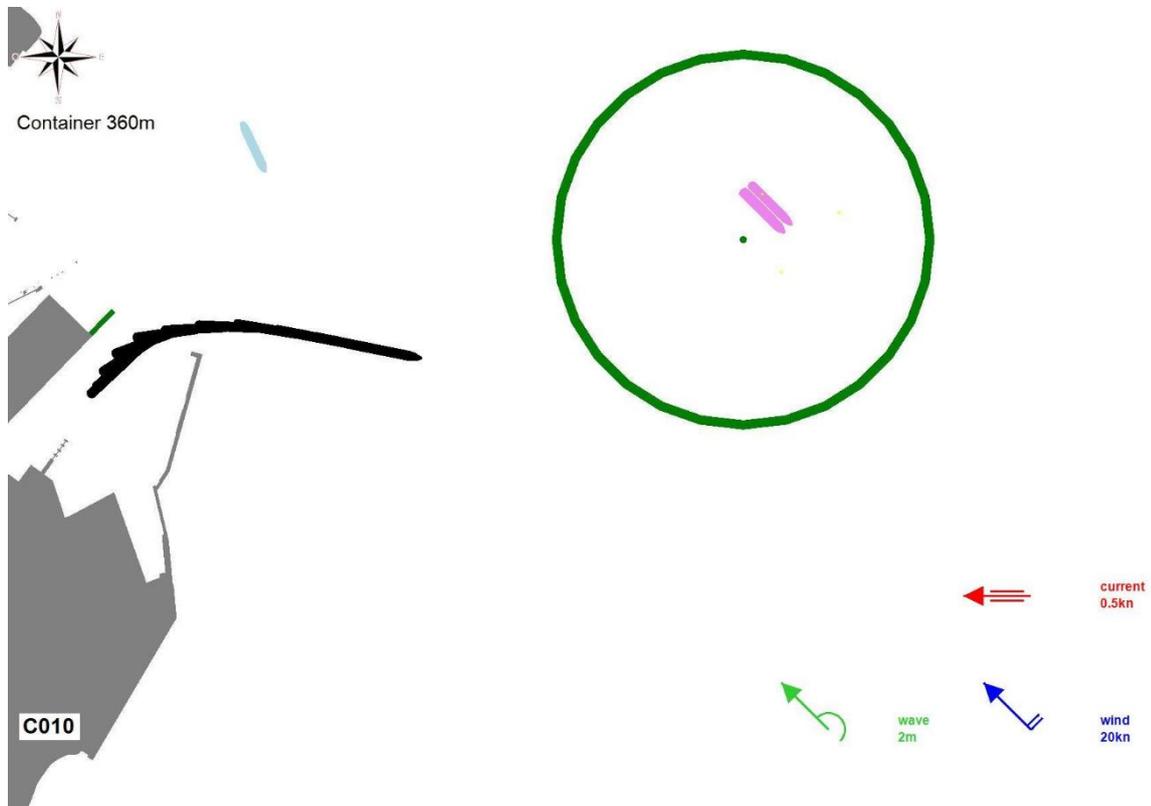
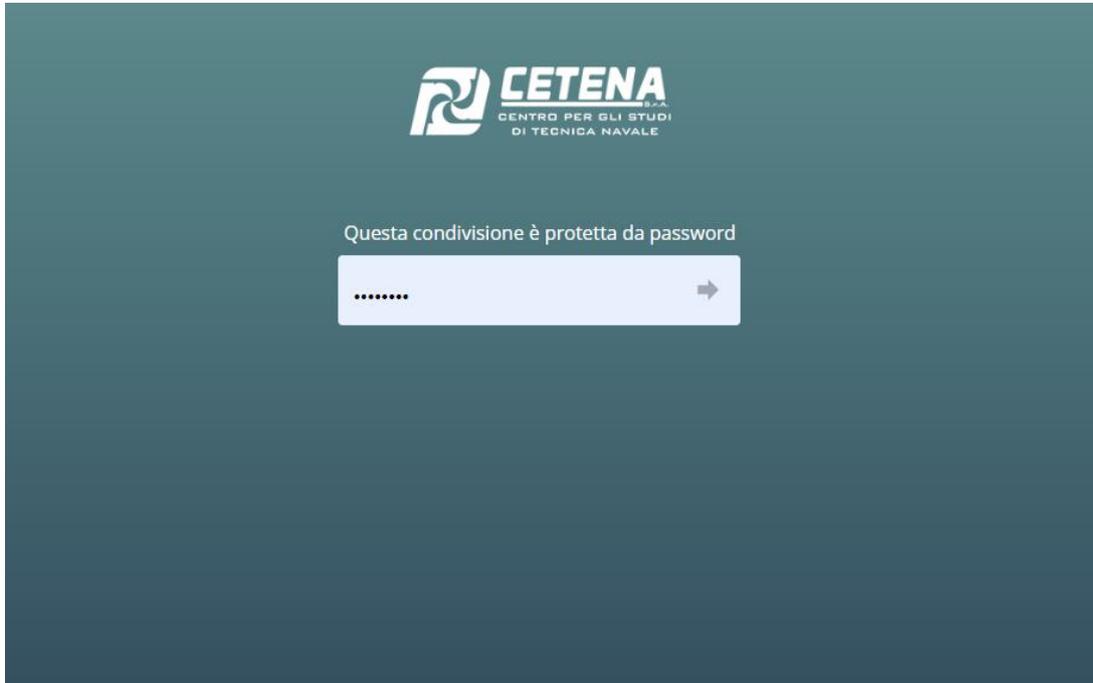


Fig. A - 18 – Manovra C010 – Container Ship 13000 TEU - Partenza
Sirocco 20 nodi

ALLEGATI

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



Una volta eseguito il login, si arriva alla pagina sulla quale sono pubblicate le cartelle che raccolgono i file contenenti tutti i dati elaborati nel corso dello studio di manovrabilità.

In sintesi sono disponibili:

- le **caratteristiche** delle unità simulate;
- le **tabelle** con la lista delle simulazioni eseguite;
- le **immagini** delle traiettorie inviluppate della singola manovra, suddivisi per data di svolgimento;
- i **filmati 2D** riproducibili in playback di tutte le simulazioni così come visualizzati sulla plancia 2D del SIMULATORE;
- le **fotografie** scattate durante le giornate di lavoro;
- le storie temporali di tutte le **grandezze** registrate durante ciascuna simulazione.