

Report n. 14981

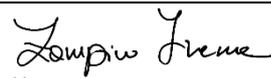
Rev. 00

Simulazioni di manovra FSRU Vado Ligure – Studio preliminare

Autori / Authors: Daniele MILAZZO, Irene ZAMPINI

Data emissione / Issue date: 20/06/2023

Pagina intenzionalmente bianca / *This page intentionally left blank*

Report n. 14981	Rev. 00	Data emissione / Issue date 20/06/2023
Titolo / Title Simulazioni di manovra FSRU Vado Ligure – Studio preliminare		
Autori / Authors Daniele MILAZZO, Irene ZAMPINI		
Sommario / Abstract <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 alle operazioni Ship to Ship tra un'unità FSRU e un'unità 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. 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, 29 e 30 Maggio 2023, in presenza dell'intero gruppo di lavoro.</i></p> <p><i>Per quanto riguarda le condizioni meteo marine, nello studio è stato considerato vento proveniente da 330°N (Maestrale) con intensità variabile tra i 6 e i 30 nodi di velocità. L'agitazione ondosa è stata considerata compresa tra 0.5 m e 2.5 m.</i></p> <p><i>Le manovre eseguite, così come le condizioni meteo marine considerate, sono state proposte da Aker Solution.</i></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 Snam FSRU Italia Techfem S.p.A.
Pagine / Sheets 49	Commessa / Job 69160423105	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

INDICE

INTRODUZIONE	8
1 SCOPO DEL LAVORO	9
1.1 Definizione degli obiettivi	9
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 LNG Carrier 292.6 m.....	20
4.2 Caratteristiche principali dei rimorchiatori.....	21
5 CONDIZIONI METEOMARINE	22
6 CONDIZIONI FINALI DI SIMULAZIONE E LORO ESECUZIONE	23
6.1 Manovre eseguite al simulatore	23
6.2 Elenco e risultati delle manovre eseguite al simulatore	24
6.3 Presentazione dei file dei risultati delle simulazioni	30
7 CONCLUSIONI	31
7.1 Riassunto delle manovre eseguite	32
7.2 In sintesi.....	34
8 RIFERIMENTI	35
APPENDICI	36
APPENDICE A	37
ALLEGATI	48

Indice delle Tabelle

Tab. 4-1 Caratteristiche principali della LNG Carrier	20
Tab. 5-1 Condizioni meteomarine considerate per le simulazioni.	22
Tab. 6-1 Sintesi delle manovre effettuate	29

Indice delle Figure

Fig. 1-1 Direzione ed intensità dei venti considerati durante le manovre.	10
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 attuale del Porto di Vado Ligure.....	16
Fig. 3-2 Zona d’ancoraggio Charlie.....	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.	21
Fig. 6-1 Numero manovre eseguite.	23
Fig. 7-1 - Venti ed intensità considerati durante le manovre	32
Fig. 7-2 - Numero di manovre associate a direzione e intensità di vento	33

Indice delle Figure – Appendice A

Fig. A - 1 – Manovra M010 – LNG Carrier 293m - Partenza Maestrone 6 nodi.	38
Fig. A - 2 – Manovra M020 – LNG Carrier 293m - Partenza Maestrone 6 nodi.	38
Fig. A - 3 – Manovra M021 – LNG Carrier 293m - Partenza Maestrone 6 nodi.	39
Fig. A - 4 – Manovra M030 – LNG Carrier 293m - Arrivo Maestrone 12 nodi.	39
Fig. A - 5 – Manovra M040 – LNG Carrier 293m - Partenza Maestrone 12 nodi.	40
Fig. A - 6 – Manovra M050 – LNG Carrier 293m - Arrivo Maestrone 15 nodi.	40
Fig. A - 7 – Manovra M060 – LNG Carrier 293m - Partenza Maestrone 15 nodi.	41
Fig. A - 8 – Manovra M061 – LNG Carrier 293m - Partenza Maestrone 15 nodi.	41
Fig. A - 9 – Manovra M070 – LNG Carrier 293m - Arrivo Maestrone 20 nodi.	42
Fig. A - 10 – Manovra M080 – LNG Carrier 293m - Partenza Maestrone 20 nodi.	42
Fig. A - 11 – Manovra M090 – LNG Carrier 293m - Arrivo – AVARIA Maestrone 20 nodi.....	43
Fig. A - 12 – Manovra M100 – LNG Carrier 293m - Arrivo – AVARIA Maestrone 30 nodi.....	43
Fig. A - 13 – Manovra M110 – LNG Carrier 293m - Arrivo – AVARIA Maestrone 30 nodi.....	44
Fig. A - 14 – Manovra M111 – LNG Carrier 293m - Arrivo – AVARIA Maestrone 30 nodi.....	44
Fig. A - 15 – Manovra M120 – LNG Carrier 293m - Arrivo Maestrone 20 nodi	45
Fig. A - 16 – Manovra M130 – LNG Carrier 293m - Arrivo Maestrone 15 nodi	45
Fig. A - 17 – Manovra M140 – LNG Carrier 293m - Partenza Maestrone 15 nodi	46
Fig. A - 18 – Manovra M150 – LNG Carrier 293m - Partenza Maestrone 20 nodi	46
Fig. A - 19 – Manovra M160 – LNG Carrier 293m - Partenza Maestrone 30 nodi	47

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 alle operazioni *Ship to Ship* tra un'unità FSRU e un'unità 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. 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, 29 e 30 Maggio 2023, in presenza dell'intero gruppo di lavoro. Le manovre sono state eseguite 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 Snam FSRU Italia.

Si riporta qui di seguito la lista dei presenti:

Partecipanti	Ente / Società di appartenenza	Note
Com. G. Letlich	Ex Capo del Corpo Piloti di Genova	Esperto esecutore messo a disposizione da CETENA
Ing. F. Vieceli	Snam Rete Gas	Supervisione alle manovre
Cap. D. Isola		
Ing. D. Milazzo	CETENA S.p.A.	Supporto e gestione delle prove al simulatore
Dott.ssa I. Zampini		
Dott.ssa 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.

Il presente studio è stato effettuato simulando un'unità LNG Carrier (292.6 m x 43.4 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).

Per quanto riguarda le condizioni meteomarine, nello studio è stato considerato vento proveniente da 330°N (Maestrale) con intensità variabile tra i 6 e i 30 nodi di velocità. L'agitazione ondosa è stata considerata compresa tra 0.5 m e 2.5 m.

Le manovre eseguite, così come le condizioni meteo marine considerate, sono state proposte da Aker Solution [Rif. 1].

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 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.

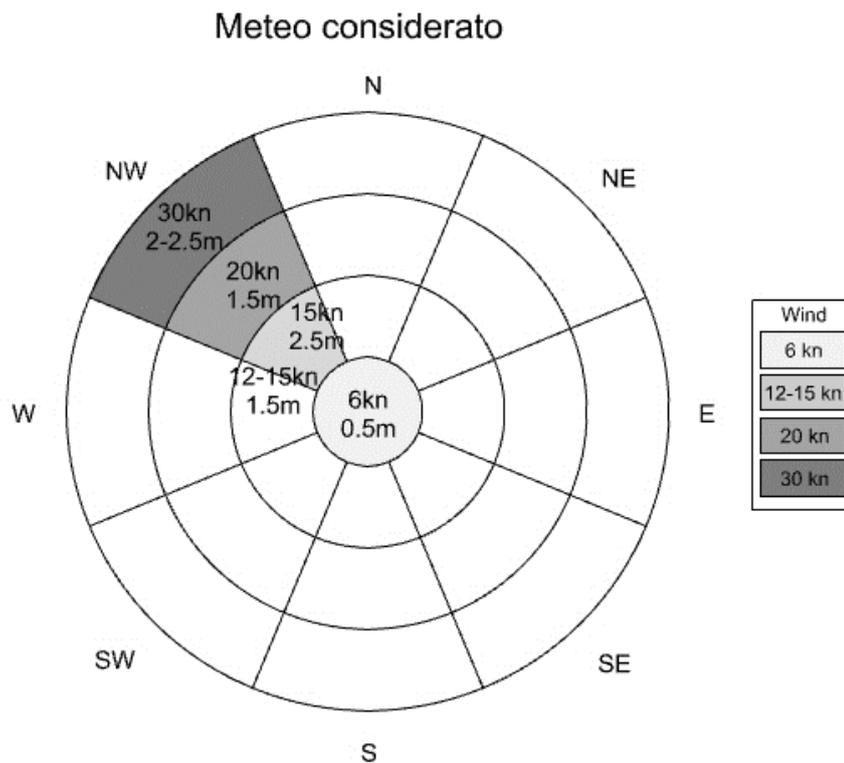


Fig. 1-1 Direzione ed intensità dei venti considerati durante le manovre.

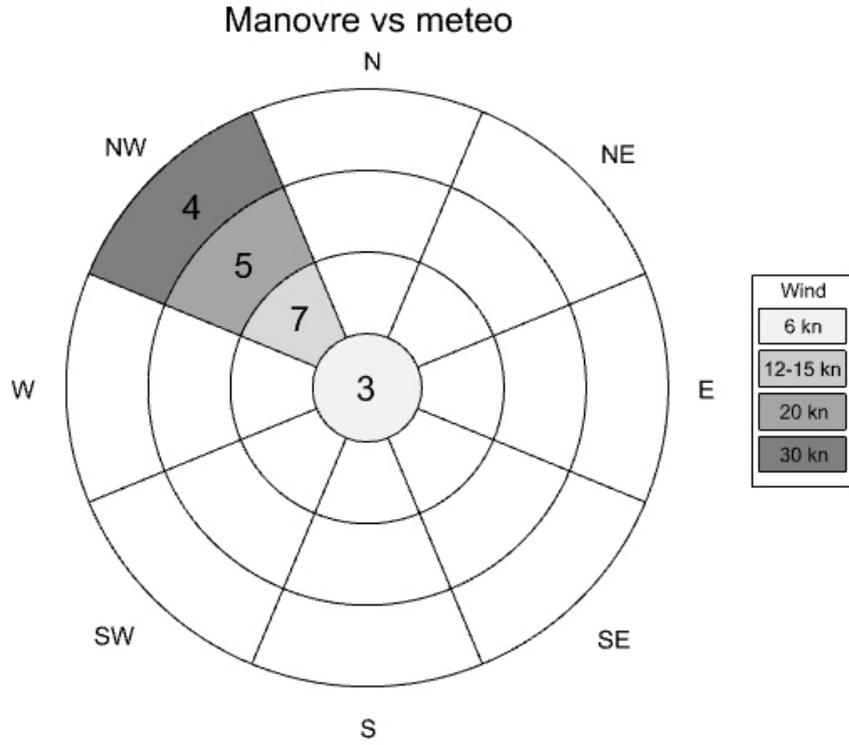


Fig. 1-2 Numero di manovre eseguite al simulatore, associate alla direzione e intensità del vento

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.

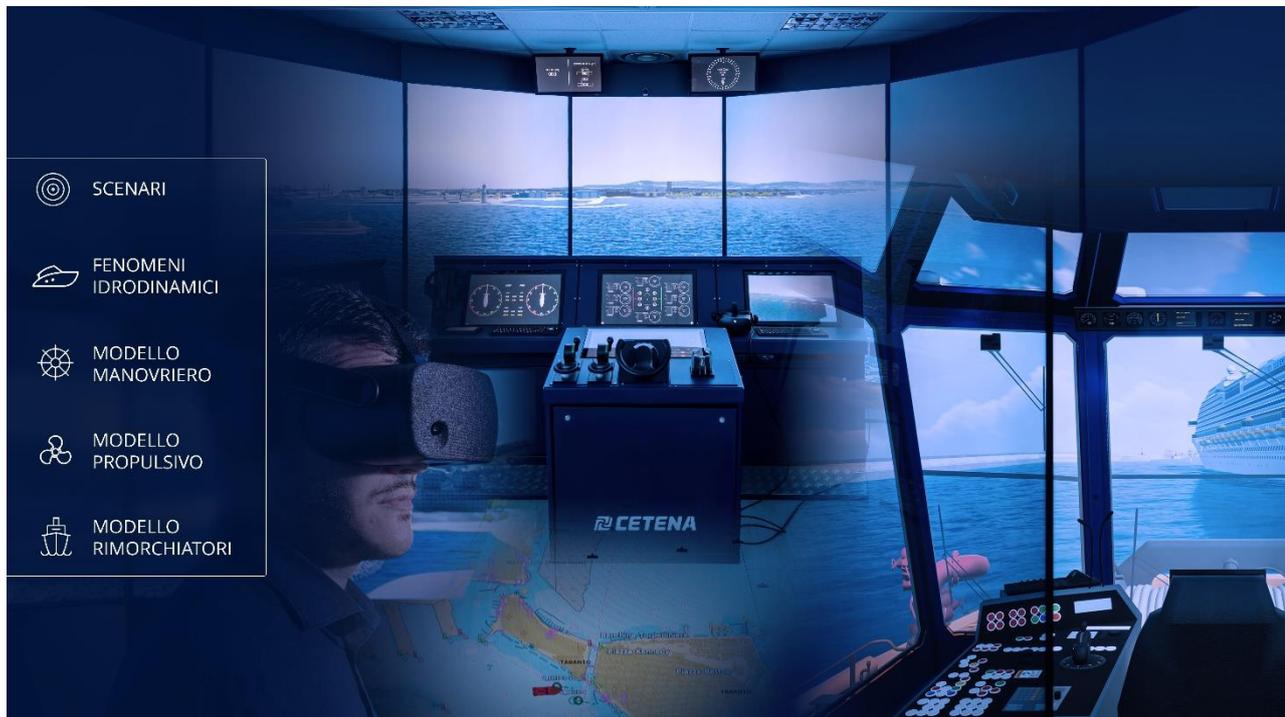


Fig. 2-1 Principali blocchi del modello matematico del simulatore

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 preso in considerazione per le simulazioni di manovra è quello attuale.



Fig. 3-1 Vista attuale del Porto di Vado Ligure

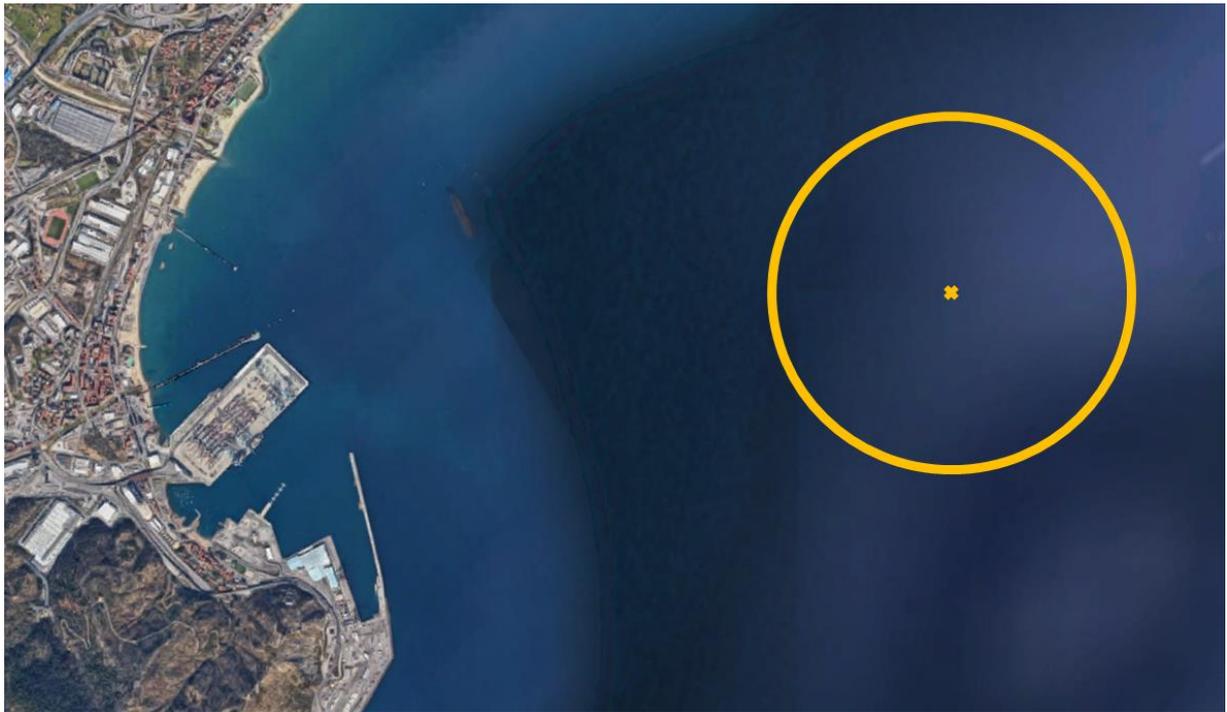


Fig. 3-2 Zona d'ancoraggio Charlie

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).

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.

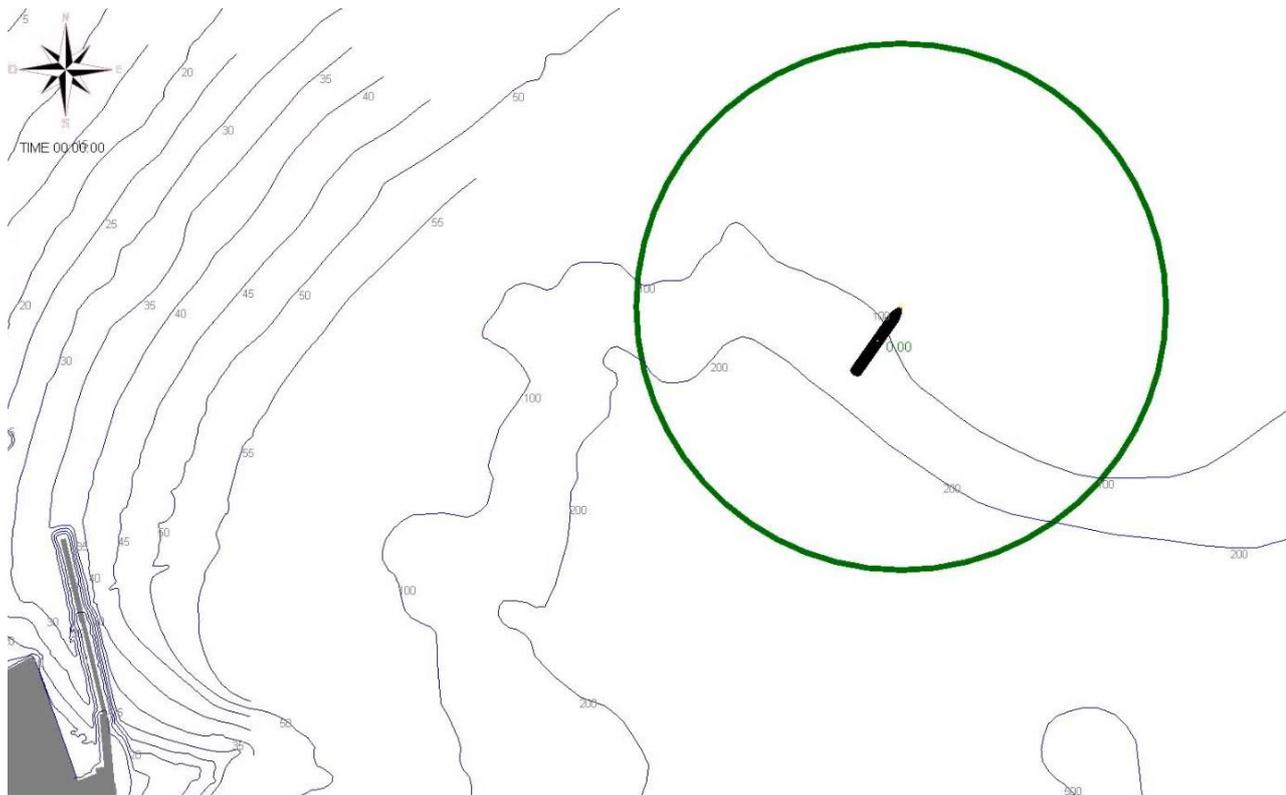


Fig. 3-3 Zona d'ancoraggio Charlie – Layout 2D di progetto rappresentato nel simulatore WHALE, con andamento dei fondali e ingombro presente nell'area di manovra.

Per quanto riguarda la posizione iniziale delle navi 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 alla 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.

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

4.1 Caratteristiche principali LNG Carrier 292.6 m

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 27 MW complessivi ed ha una velocità massima di 19.5 nodi.



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 1		
Immersione	9.5	m
Dislocamento	85075	t
Area laterale esposta	7916	m ²
Area frontale esposta	1200	m ²
Immersione 2		
Immersione	12.5	m
Dislocamento	112237	t
Area laterale esposta	7038	m ²
Area frontale esposta	1070	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		
Bow thrusters	1 x 2100	kW

Tab. 4-1 Caratteristiche principali della LNG Carrier.

4.2 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 stati utilizzati fino a quattro rimorchiatori dotati di Bollard Pull pari a 70t. 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

Le condizioni d'onda, l'intensità di vento e corrente prese in considerazione si riferiscono allo studio sviluppato da Aker Solution [Rif. 1] e fornito dal Cliente a CETENA.

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*.

Nello studio è stato considerato vento proveniente da 330°N (Maestrale), con intensità variabile tra i 6 e i 30 nodi di velocità. L'agitazione ondosa è stata considerata compresa tra 0.5 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 Vado Ligure – Studio preliminare					
DIR. / INTENSITA' VENTO	CARATTERISTICHE MARE ASSOCIATO			CARATTERISTICHE CORRENTE ASSOCIATA	
	Dir. [°N]	Hs [m]	Tp [s]	Dir. [°N]	Vel. [kn]
NNW (330°N) – Maestrale, 6 kn	330	0.5	5.5	170	0.5
NNW (330°N) – Maestrale, 12 kn	330	1.5	6	150	0.5
NNW (330°N) – Maestrale, 15 kn	330	1.5	6	150	0.5
NNW (330°N) – Maestrale, 15 kn	135	2.5	6.7	150	0.5
NNW (330°N) – Maestrale, 20 kn	180	1.5	6	0	0.5
NNW (330°N) – Maestrale, 30 kn	180	2	6.3	170	0.5
NNW (330°N) – Maestrale, 30 kn	135	2.5	6.7	315	0.5

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 29 e 30 Maggio 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. **19** manovre con l'unità LNG Carrier.

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

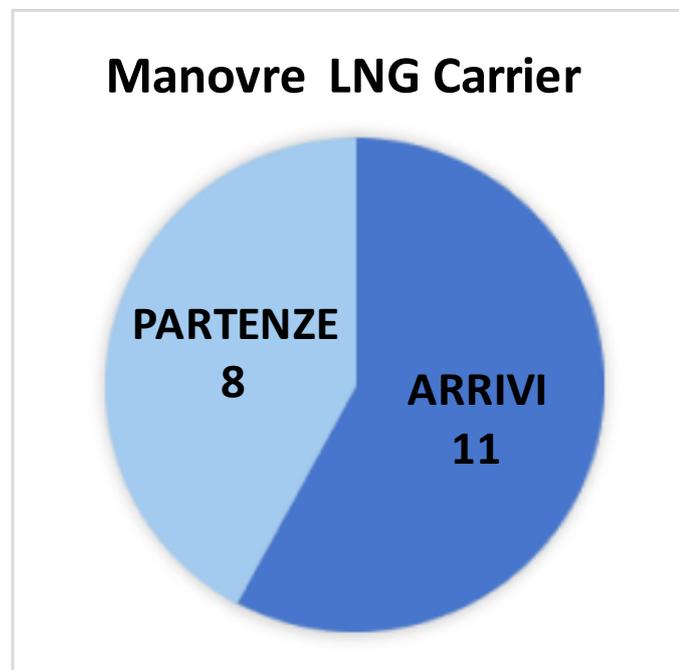


Fig. 6-1 Numero manovre eseguite.

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 portata a termine**") 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 (**M** = 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 ondososa 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]							
M010 (18min)	LNGC	330	6	330	0.5	5.5	170	0.5	A	FSRU	Fianco di dritta FSRU	4	70t	<p>MANOVRA PORTATA A TERMINE</p> <p>La nave inizia la manovra di approccio alla zona di ancoraggio alla velocità di 2kn collegando 2 rimorchiatori, uno a prua e uno a poppa, con 60m di cavo, e due rimorchiatori a spingere al fianco di dritta, a prua e poppa. Superata la mezza lunghezza dall'ingombro, il rimorchiatore di poppa al fianco di dritta lavora per alcuni istanti ad aiutare la nave ad affiancarsi all'FSRU ormeggiata. La nave si accosta lentamente alla FSRU a 0.5 kn con i rimorchiatori di poppa e prua orientati a 45° verso l'esterno. La nave si sposta lateralmente fino a posizionarsi parallela alla FSRU. I rimorchiatori di poppa e prua tirano per mantenere la distanza minima in accosto. La manovra termina con la LNGC vicina e parallela al fianco di dritta della FSRU.</p>	
M020 (10min)	LNGC	330	6	330	0.5	5.5	170	0.5	P	FSRU	Fianco di dritta della FSRU	4	70t	<p>MANOVRA PORTATA A TERMINE</p> <p>La nave inizia la manovra di partenza dalla zona di ancoraggio con 2 rimorchiatori a prua e uno di poppa collegati con 60m di cavo, ed un rimorchiatore al fianco di dritta alla spinta posizionato a metà lunghezza nave. I rimorchiatori di poppa e prua chiamati a lavorare per distanziare la nave dal FSRU. La nave si scosta e raggiunge 2kn. Superato l'ingombro dell'ormeggio, i rimorchiatori di prua aiutano la nave ad evolvere a dritta fino a raggiungere i 3.9kn. La manovra termina con la nave libera di navigare in sicurezza al di fuori della zona d'ormeggio.</p>	
M021 (13min)	LNGC	330	6	330	0.5	5.5	170	0.5	P	FSRU	Fianco di dritta della FSRU	4	70t	<p>MANOVRA PORTATA A TERMINE</p> <p>La nave inizia la manovra di partenza con 2 rimorchiatori a prua e uno di poppa collegati con 60m di cavo, ed uno al fianco di dritta alla spinta a metà lunghezza nave. Per distaccare l'unità LNG vengono chiamati a lavorare uno dei due rimorchiatori a prua e quello di poppa, entrambi voltati a 45° verso l'esterno. In seguito, la nave procede a marcia indietro, fermando il rimorchiatore in prua e mantenendo quello di poppa al tiro di 45° in direzione SE. Superato l'ingombro della LNG, uno dei due rimorchiatori di prua insieme a quello di poppa lavorano per aiutare la nave a riportare la prua verso sud. La manovra termina con la nave libera di navigare in sicurezza al di fuori della zona d'ormeggio.</p>	
M030 (14min)	LNGC	330	12	330	1.5	6	150	0.5	A	FSRU	Fianco di dritta della FSRU	4	70t	<p>MANOVRA PORTATA A TERMINE</p> <p>La nave inizia la manovra di approccio alla zona di ancoraggio alla velocità di 4kn collegando 2 rimorchiatori, uno a prua e uno a poppa, con 60m di cavo, e due rimorchiatori a spingere al fianco di dritta, a prua e poppa. La nave raggiunge l'ormeggio senza l'ausilio dei rimorchiatori. Durante l'operazione di ship to ship i rimorchiatori al tiro aiutano a mantenere la poppa e ad affiancare le due unità. La manovra termina a nave accostata al rigassificatore.</p>	
M040 (10min)	LNGC	330	12	330	1.5	6	150	0.5	P	FSRU	Fianco di dritta della FSRU	4	70t	<p>MANOVRA PORTATA A TERMINE</p> <p>La nave inizia la manovra di partenza dalla zona di ancoraggio con 2 rimorchiatori a prua e uno di poppa collegati con 60m di cavo, ed un rimorchiatore al fianco di dritta alla spinta posizionato a metà lunghezza nave. Per distaccare la LNGC vengono chiamati a lavorare uno dei due rimorchiatori a prua e quello di poppa, entrambi voltati a 45° verso l'esterno. Il secondo rimorchiatore in prua agisce subito dopo, sempre al tiro, in direzione Nord-Est. I due rimorchiatori di prua lavorano per aiutare la nave ad evolvere a dritta per poter uscire dalla zona d'ormeggio. La manovra termina con la nave libera di navigare in sicurezza al di fuori della zona d'ormeggio.</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.	[-]							[t]
		[°N]	[kn]	[°N]	[m]	[s]	[°N]	[kn]								
M050 (20min)	LNGC	330	15	135	2.5	6.7	150	0.5	A	FSRU	Fianco di dritta della FSRU	2	70t	MANOVRA PORTATA A TERMINE La nave inizia la manovra di approccio alla zona di ancoraggio alla velocità di 4.5kn collegando 2 rimorchiatori, uno a prua e uno a poppa, con 60m di cavo. La nave procede con l'aiuto del rimorchiatore di prua verso l'ormeggio e di seguito, in approccio al rigassificatore, interviene il rimorchiatore di poppa al tiro per rallentare. La FSRU mantiene una HDG di circa 60° grazie anche all'utilizzo dell'elica di manovra. La nave LNGC utilizza il thruster fino al 100% della potenza, così come il rigassificatore, durante l'accosto. La nave termina la manovra accostata al rigassificatore.		
M060 (9min)	LNGC	330	15	135	2.5	6.7	150	0.5	P	FSRU	Fianco di dritta della FSRU	3	70t	MANOVRA PORTATA A TERMINE La nave inizia la manovra di partenza collegando due rimorchiatori a prua ed uno a poppa, collegati con 60m di cavo. La nave chiama subito tutti i rimorchiatori al tiro e utilizza sin da subito l'elica di manovra. Anche il rigassificatore necessita dell'utilizzo a piena potenza dell'elica di manovra per mantenere la direzione della prua. Quando le due unità sono ormai distanziate, il rimorchiatore di poppa diminuisce il proprio tiro, seguito dai due a prua fino a fermarsi del tutto. La nave continua ad avanzare autonomamente a 3kn. La nave inizia così la sua evoluzione a dritta per dirigersi verso l'uscita dell'area d'ormeggio. La manovra termina con la nave libera di navigare in sicurezza al di fuori della zona d'ormeggio.		
M061 (10min)	LNGC	330	15	135	2.5	6.7	150	0.5	P	FSRU	Fianco di dritta della FSRU	3	70t	MANOVRA PORTATA A TERMINE La nave inizia la manovra di partenza collegando due rimorchiatori a prua ed uno a poppa, collegati con 60m di cavo. La nave chiama ad agire tutti i rimorchiatori a tirare per distanziare la nave. Il rigassificatore utilizza l'elica di manovra per mantenere la prua in direzione 60°. La nave, ormai distaccata dall'ormeggio, procede a marcia indietro fermando i rimorchiatori in prua e lasciando attivo solo il rimorchiatore di poppa. Alla velocità di 2kn ferma il rimorchiatore di poppa e chiama i rimorchiatori di prua al tiro, fermando le macchine e portandole poi avanti per eseguire un'evoluzione a dritta, mantenendo i 2 rimorchiatori in prua per agevolare la manovra verso l'uscita dell'area d'ormeggio. La manovra termina con la nave libera di navigare in sicurezza al di fuori della zona d'ormeggio. La LNGC non utilizza il thruster durante l'intera manovra, facendosi aiutare dai soli rimorchiatori.		
M070 (18min)	LNGC	330	20	180	1.5	6	0	0.5	A	FSRU	Fianco di dritta della FSRU	4	70t	MANOVRA PORTATA A TERMINE La nave inizia la manovra di arrivo alla velocità di 3kn con un rimorchiatore a prua ed uno a poppa entrambi collegati con 60m di cavo. La nave procede avvicinandosi all'area di manovra con prua al vento. In seguito, vengono chiamati anche altri due rimorchiatori alla spinta sul fianco di dritta rispettivamente a prua e poppa. In avvicinamento al rigassificatore, la nave utilizza tutti e quattro i rimorchiatori, fermando poi quelli al tiro di poppa e prua che da una posizione quasi a traverso verso sinistra vengono voltati quasi a traverso verso destra. In conclusione alla manovra i due rimorchiatori a spingere lavorano alternando le spinte per avvicinare la nave al FSRU. La nave termina la manovra accostata 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]							
M080 (9min)	LNG	330	20	180	1.5	6	0	0.5	P	FSRU	Fianco di dritta della FSRU	4	70t	<p>MANOVRA PORTATA A TERMINE</p> <p>La nave inizia la manovra di partenza con due rimorchiatori collegati a prua ed uno a poppa con 60m di cavo, ed un rimorchiatore alla spinta a poppa del fianco di dritta. Uno dei rimorchiatori di prua, il più angolato esternamente, inizia subito a tirare insieme al rimorchiatore di poppa per scostare la nave dal rigassificatore. La nave viene distanziata lentamente, mentre il rigassificatore mantiene la direzione di circa 270° utilizzando l'elica di manovra. A nave ben distanziata, viene liberato il rimorchiatore al fianco a spingere. Qui la nave procede a marcia avanti iniziando un'evoluzione a sinistra, aiutata da uno dei rimorchiatore di prua in tiro. Alla velocità di 5 kn i rimorchiatori vengono scollegati e la nave procede nella sua evoluzione, portando gradualmente la prua verso la direzione d'uscita dell'area d'ormeggio. La manovra termina con la nave libera di navigare in sicurezza al di fuori della zona d'ormeggio.</p>	
M090 (12min)	LNG	330	20	180	1.5	6	0	0.5	A	FSRU	Fianco di dritta della FSRU	4	70t	<p>MANOVRA PORTATA A TERMINE – AVARIA THRUSTER FSRU</p> <p>La nave inizia la manovra di arrivo alla velocità di 3kn con un rimorchiatore a prua ed uno a poppa entrambi collegati con 60m di cavo. In seguito, vengono chiamati anche altri due rimorchiatori alla spinta sul fianco di dritta rispettivamente a prora e poppa. Qui la nave procede a 3.8kn in posizione parallela al rigassificatore, chiamando ad agire i rimorchiatori a prua e poppa a 45° in direzione del rigassificatore. In prossimità della metà lunghezza nave, vengono chiamati ad agire anche i rimorchiatori a spingere. La nave ferma poi il rimorchiatore in prua e successivamente tutti gli altri. Nella fase finale di avvicinamento la nave è aiutata dal vento e dai rimorchiatori al tiro, che angolati esternamente, aiutano a mantenere il controllo. La manovra è stata eseguita grazie anche all'utilizzo dell'elica di manovra. La nave termina la manovra accostata al rigassificatore.</p>	
M100 (12min)	LNG	330	30	180	2	6.3	170	0.5	A	FSRU	Fianco di dritta della FSRU	4	70t	<p>MANOVRA PORTATA A TERMINE – AVARIA RIMORCHIATORE</p> <p>La nave inizia la manovra di approccio alla zona di ancoraggio alla velocità di 4kn collegando 2 rimorchiatori, uno a prua e uno a poppa con 60m di cavo, e due rimorchiatori a spingere al fianco di dritta. La nave avanza in direzione del rigassificatore, che mantiene la direzione della prua di circa 300°. La nave avvicina il rigassificatore a 3.3kn in avvicinamento, avanzando avanti adagio. Quando la nave è quasi parallela, ma distanziata, al FSRU, vengono chiamati a lavorare i rimorchiatori alla spinta sul fianco, mentre i rimorchiatori di prua e poppa si posizionano a traverso a dritta. Al minuto 11.15 viene simulata una failure al cavo del rimorchio di poppa. Il rimorchiatore al fianco di prua viene spostato a centro nave, mentre il rimorchiatore alla spinta sul fianco a poppa passa al tiro in poppa sostituendo quello perso. La nave procede all'accosto utilizzando il thruster e azionando poi il rimorchiatore a spingere. La nave termina la manovra accostata 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.	[-]							[t]
		[°N]	[kn]	[°N]	[m]	[s]	[°N]	[kn]								
M110 (16min)	LNG	330	30	180	2	6.3	170	0.5	A	FSRU	Fianco di dritta FSRU	4	70t	<p>MANOVRA PORTATA A TERMINE – AVARIA PROPULSIONE LNG CARRIER</p> <p>La nave inizia la manovra di approccio alla zona di ancoraggio alla velocità di 4kn collegando 2 rimorchiatori, uno a prua e uno a poppa con 60m di cavo e, due rimorchiatori a spingere al fianco di dritta. La nave avanza in direzione del rigassificatore, che mantiene la posizione in direzione 300°. Al minuto 8.00 viene simulata un'avaria che al sistema propulsione della LNGC arrestandola completamente. In seguito, i rimorchiatori sul fianco di dritta vengono voltati al tiro. La nave prosegue utilizzando solo lo stern thruster fino al 100% della potenza e l'assistenza dei rimorchiatori. A fronte del failure, la strategia di manovra cambia impostando l'obiettivo sulla fuga dall'area d'ormeggio e di conseguenza dal FSRU. La manovra termina con la nave libera di navigare in sicurezza al di fuori della zona d'ormeggio.</p>		
M111 (24min)	LNG	330	30	180	2	6.3	170	0.5	A	FSRU	Fianco di dritta della FSRU	4	70t	<p>MANOVRA PORTATA A TERMINE – AVARIA PROPULSIONE LNG CARRIER</p> <p>La manovra è analoga alla manovra M110 fino al momento della simulazione del failure della propulsione della LNGC. Il rimorchiatore di poppa al tiro inizia ad agire per rallentare la nave. A nave parallela all'ingombro, viene azionato anche il rimorchiatore di prua al tiro al minimo a mantenere la prua. Grazie al thruster e all'azione del vento, la nave inizia ad accostarsi lentamente. A fronte del failure, la strategia di manovra non cambia, l'obiettivo rimane effettuare l'operazione di ship to ship. La nave termina la manovra accostata al rigassificatore.</p>		
M120 (18min)	LNG	330	20	180	1.5	6	0	0.5	A	FSRU	Fianco di dritta della FSRU	4	70t	<p>MANOVRA PORTATA A TERMINE</p> <p>La nave inizia la manovra di approccio alla zona di ancoraggio alla velocità di 4.5kn collegando 2 rimorchiatori, uno a prua e uno a poppa, con 60m di cavo, e due rimorchiatori a spingere al fianco di dritta, a prua e poppa. La nave procede a 5kn in direzione del rigassificatore, che si mantiene allineato con il thruster in direzione 280°. All'altezza della FSRU, il rimorchiatore a prua viene posizionato verso il rigassificatore e chiamato al tiro, insieme ai rimorchiatori alla spinta. La nave in rallentamento a 2kn chiama infine anche il rimorchiatore di poppa al tiro in direzione SE. In prossimità della FSRU, in direzione parallela, i rimorchiatori al cavo vengono voltati verso l'esterno mentre i rimorchiatori alla spinta agiscono per avvicinare la nave al rigassificatore. La nave termina la manovra accostata al rigassificatore.</p>		
M130 (12min)	LNG	330	15	330	1.5	6	150	0.5	A	FSRU	Fianco di dritta della FSRU	3	70t	<p>MANOVRA PORTATA A TERMINE</p> <p>La nave inizia la manovra di approccio alla zona di ancoraggio alla velocità di 4kn collegando 2 rimorchiatori, uno a prua e uno a poppa, con 60m di cavo, e un rimorchiatore a spingere al fianco di dritta centralmente. La nave procede con prua al vento avvicinandosi alla FSRU a 3kn e superata con la prua la mezza lunghezza nave della FSRU chiama il rimorchiatore al fianco a spingere. Poco dopo viene chiamato anche il rimorchiatore di poppa al tiro, in direzione Sud, insieme al rimorchiatore di prua al tiro, in direzione NE, a distanziare la prua. Al termine della manovra il rimorchiatore al fianco viene chiamato a spingere per terminare l'accosto e il rimorchiatore di poppa al tiro al traverso per mantenere la poppa. La manovra termina con la nave accostata e vicina alla FSRU.</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.	[-]							[t]
		[°N]	[kn]	[°N]	[m]	[s]	[°N]	[kn]								
M140 (10min)	LNG	330	15	330	1.5	6	150	0.5	P	FSRU	Fianco di dritta FSRU	3	70t	<p>MANOVRA PORTATA A TERMINE</p> <p>La nave inizia la manovra di partenza dal rigassificatore con tre rimorchiatori, due a prua ed uno a poppa, collegati con cavo da 60m. Uno dei rimorchiatori di prua, il più angolato esternamente, inizia subito a tirare insieme al rimorchiatore di poppa per scostare la nave dal rigassificatore. La nave viene distanziata lentamente, mentre il rigassificatore mantiene la direzione di 330°. A poppa distanziata, ormai a marcia indietro, il rimorchiatore di poppa viene fermato e azionati i due rimorchiatori di prua in modo tale da agevolare il cambio di direzione della prua verso l'uscita dell'aera d'ormeggio. La manovra termina con la nave libera di navigare in sicurezza al di fuori della zona d'ormeggio.</p>		
M150 (16min)	LNG	330	20	180	1.5	6	0	0.5	A	FSRU	Fianco di dritta FSRU	4	70t	<p>MANOVRA PORTATA A TERMINE</p> <p>La nave inizia la manovra di approccio alla zona di ancoraggio alla velocità di 2kn collegando 2 rimorchiatori, uno a prua e uno a poppa, con 60m di cavo, e due rimorchiatori a spingere al fianco di dritta, a prua e poppa. Il vento cala progressivamente, passando da 20 kn a 6 kn. La FSRU mantiene con il thruster l'angolo di prua di 270° circa. Quando la LNGC comincia a posizionarsi parallelamente al rigassificatore i rimorchiatori cominciano a lavorare l'uno dopo l'altro, partendo da quello di prua. I rimorchiatori al cavo vengono sguardati verso sinistra in modo tale da tirare la nave verso la FSRU. Quando la nave è vicina e parallela al rigassificatore i rimorchiatori di prua e poppa vengono fermati e portati a dritta al traverso, mentre i due rimorchiatori alla spinta proseguono il lavoro ad assistere l'accosto. La manovra termina a nave parallela e accostata al rigassificatore.</p>		
M160 (6min)	LNG	330	30	135	2.5	6.7	315	0.5	P	FSRU	Fianco di dritta FSRU	3	70t	<p>MANOVRA PORTATA A TERMINE</p> <p>La nave inizia la manovra di partenza dal rigassificatore collegando tre rimorchiatori, due a prua ed uno a poppa, collegati con 60m di cavo. Il rigassificatore prova a mantenere la posizione di equilibrio con direzione di 30° circa. La nave chiama subito al tiro i rimorchiatori di prua e poppa, voltati verso l'esterno e, in seguito anche il secondo rimorchiatore di prua per distanziarsi del FRSU. Quando la LNGC supera con almeno metà della sua lunghezza il FSRU i rimorchiatori vengono fermati e la nave procede a velocità di circa 3.5kn, con macchina avanti per distanziarsi velocemente. Successivamente, ad ingombro quasi superato, i tre rimorchiatori vengono liberati e la nave procede a circa 5kn. La manovra termina con la nave libera di navigare in sicurezza al di fuori della zona d'ormeggio.</p>		

Tab. 6-1 Sintesi delle manovre effettuate

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, 29 e 30 Maggio 2023, in presenza dell'intero gruppo di lavoro. In particolare, le manovre sono state eseguite 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 dei rimorchiatori ritenuti necessari allo svolgimento delle manovre in sicurezza.

Il presente studio è stato effettuato simulando un'unità LNG Carrier (292.6 m x 43.4 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).

Per quanto riguarda le condizioni meteomarine, nello studio è stato considerato vento proveniente da 330°N (Maestrale) con intensità variabile tra i 6 e i 30 nodi di velocità. L'agitazione ondosa è stata considerata compresa tra 0.5 m e 2.5 m.

Le manovre eseguite, così come le condizioni meteo marine considerate, sono state proposte da Aker Solution [Rif. 1].

Dall'esito delle simulazioni di manovra svolte con la **LNG Carrier** si osserva che *le manovre di arrivo e partenza* al terminal offshore sono state portate a termine al simulatore anche in condizioni di vento severe considerando l'ausilio di quattro rimorchiatori in assistenza (4 x 70t), sviluppando l'intera fase di evoluzione all'interno dell'area di ancoraggio Charlie.

Durante le simulazioni svolte con onda formata è stato richiesto un uso intenso dello stern thruster della FSRU dedicato al mantenimento dell'angolo di prua, evidenziando anche la complessità delle operazioni di affiancamento da parte della LNGC alla FSRU nelle condizioni più severe.

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 seguente si può osservare che, durante le simulazioni, è stato considerato il vento di:

- Maestrale per intensità di 6 kn per un totale di n° 6 manovre;
- Maestrale per intensità da 12 kn a 15 kn, per un totale di n° 7 manovre;
- Maestrale per intensità di 20 kn per un totale di n° 5 manovre;
- Maestrale per intensità di 30 kn per un totale di n° 4 manovre;

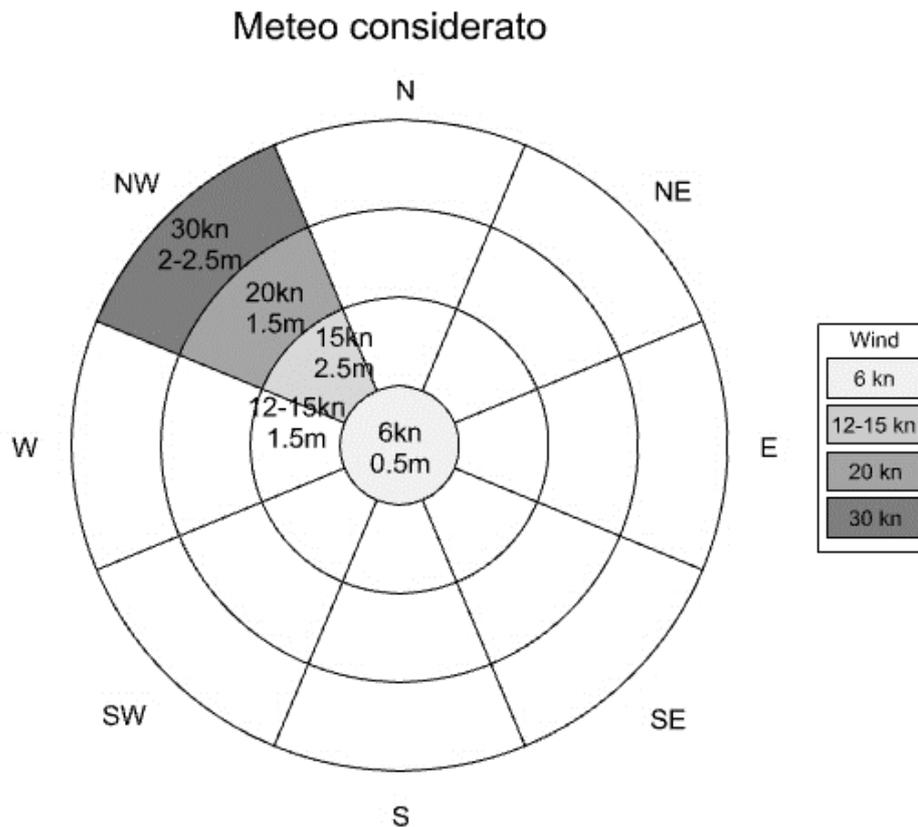


Fig. 7-1 - Venti ed intensità considerati durante le manovre

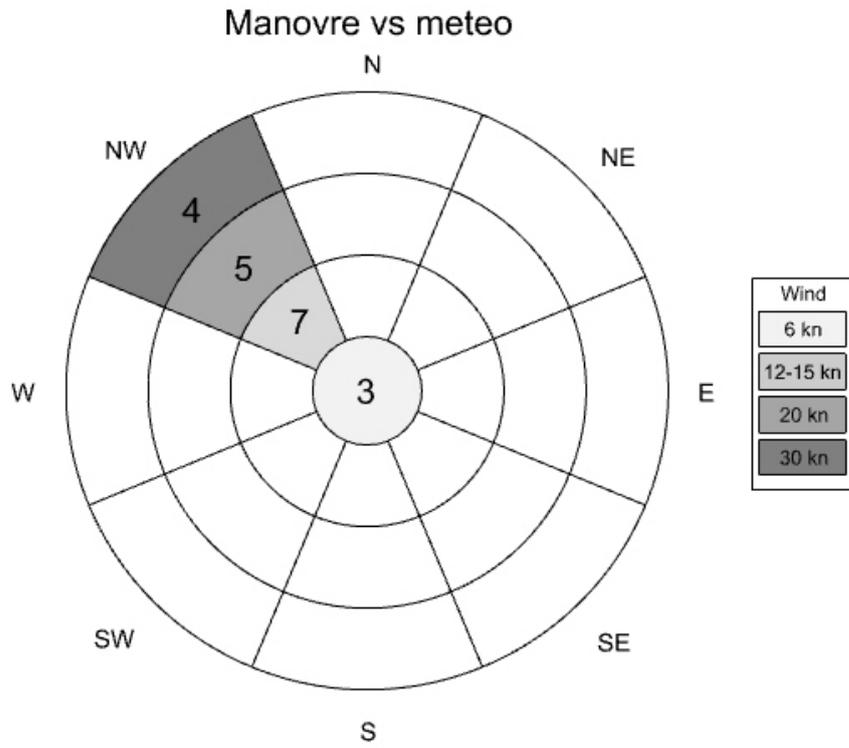


Fig. 7-2 - Numero di manovre associate a direzione e intensità di vento

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.

Obiettivi raggiunti

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

- Sono state valutate l'idoneità e dell'adeguatezza dello specchio acqueo a disposizione delle diverse unità navali in termini di sicurezza della navigazione e di manovrabilità nelle varie condizioni meteorologiche per poter compiere le manovre portuali di arrivo e partenza dal terminal offshore (v. Cap 6);
- Sono state individuate le condizioni operative limite per lo svolgimento in sicurezza delle manovre di ingresso e uscita grazie all'ausilio di rimorchiatori (Capitoli 6 e 7);
- È stata verificata l'adeguatezza dei rimorchiatori (per numero, tipologia e tiro massimo) necessari per la manovra in sicurezza delle varie navi (v. Cap 7).

8 RIFERIMENTI

Rif. 1. Evaluation of Vado Ligure

“160025-58-AS-J-0003 Evaluation of Vado Ligure Rev 02.docx”

Autore: Aker Solutions

Fonte: Cliente

APPENDICI

APPENDICE A

TRACCIATI DELLE MANOVRE

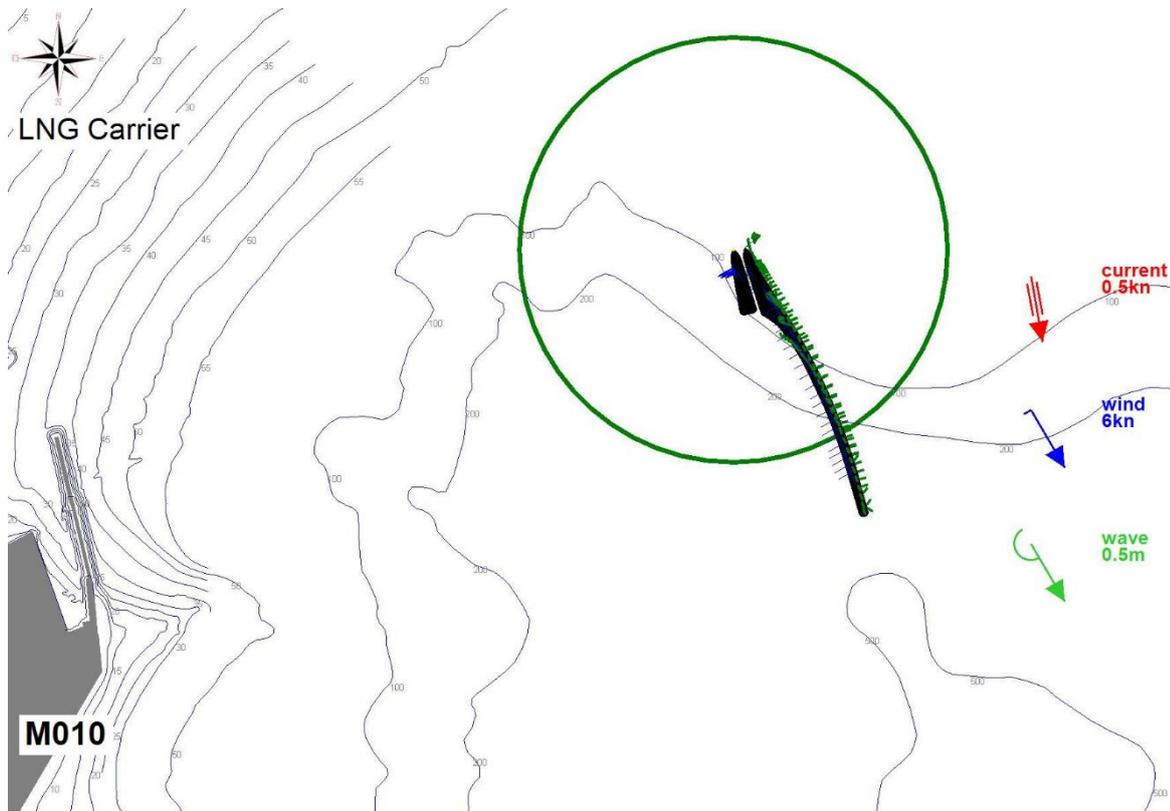


Fig. A - 1 – Manovra M010 – LNG Carrier 293m - Partenza
Maestrale 6 nodi.



Fig. A - 2 – Manovra M020 – LNG Carrier 293m - Partenza
Maestrale 6 nodi.



Fig. A - 3 – Manovra M021 – LNG Carrier 293m - Partenza
Maestrale 6 nodi.

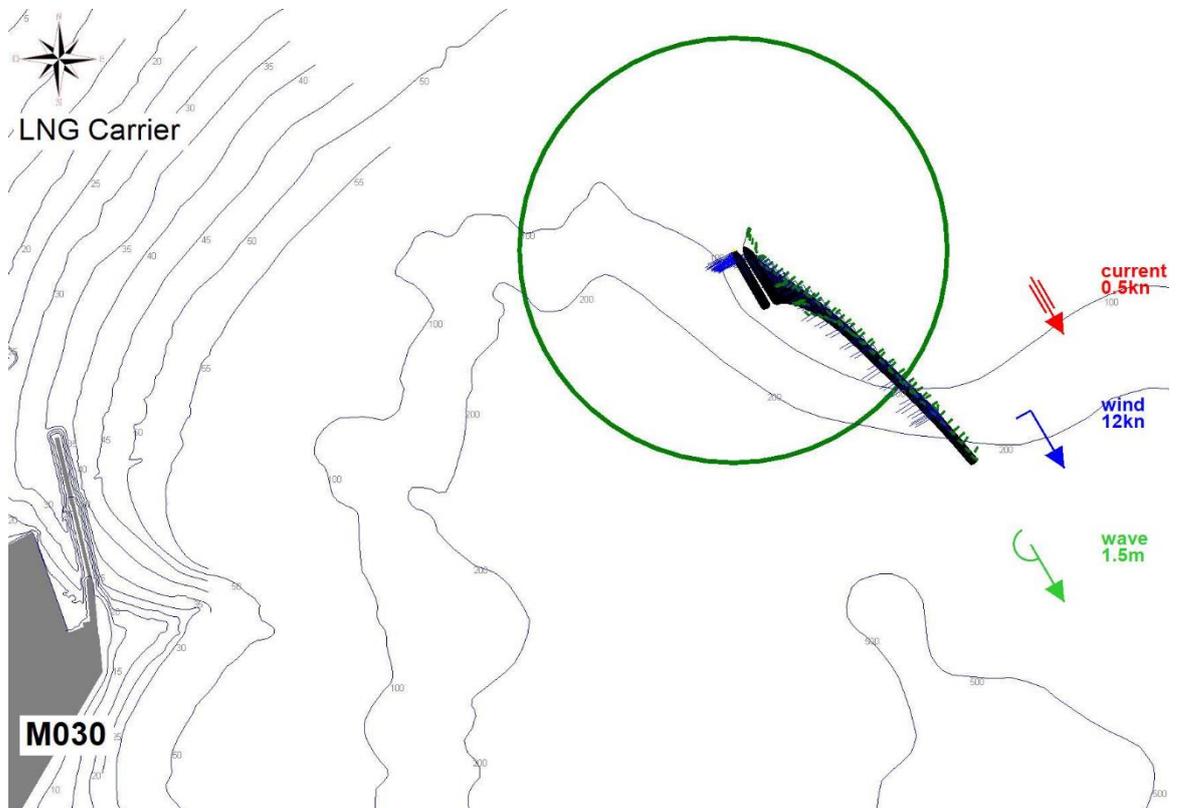


Fig. A - 4 – Manovra M030 – LNG Carrier 293m - Arrivo
Maestrale 12 nodi.

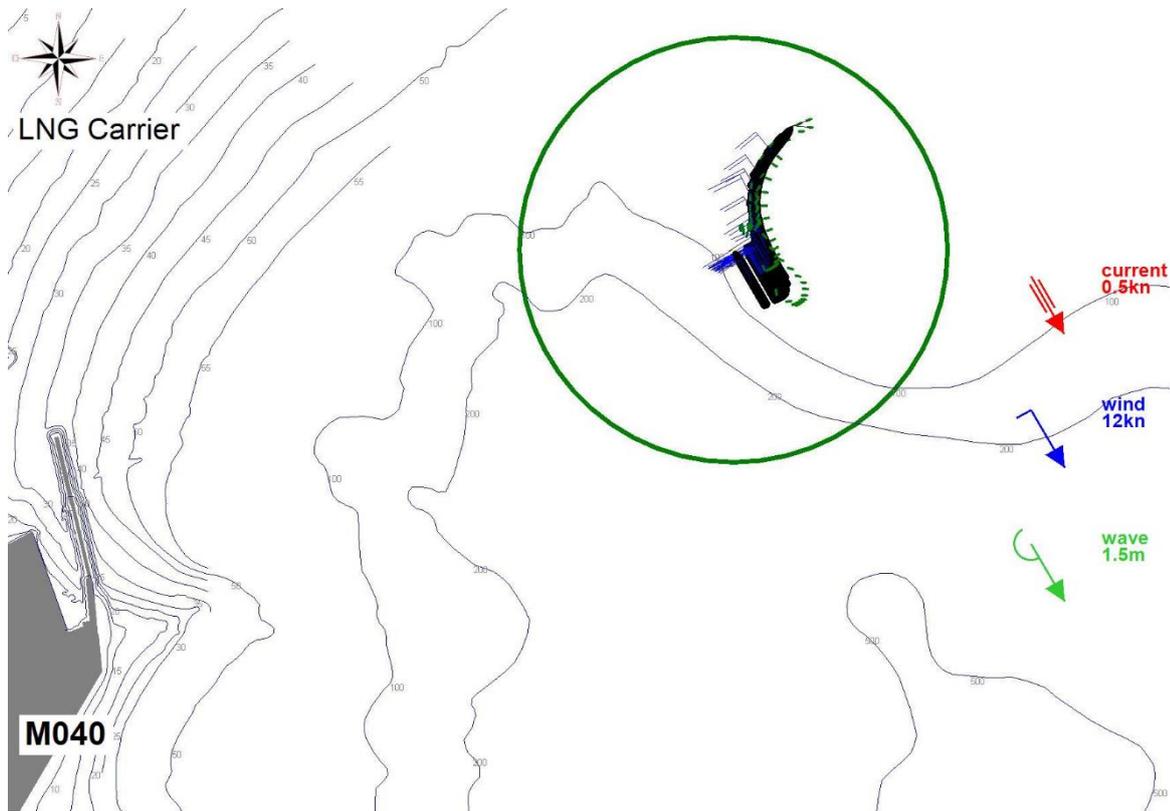


Fig. A - 5 – Manovra M040 – LNG Carrier 293m - Partenza
Maestrale 12 nodi.



Fig. A - 6 – Manovra M050 – LNG Carrier 293m - Arrivo
Maestrale 15 nodi.

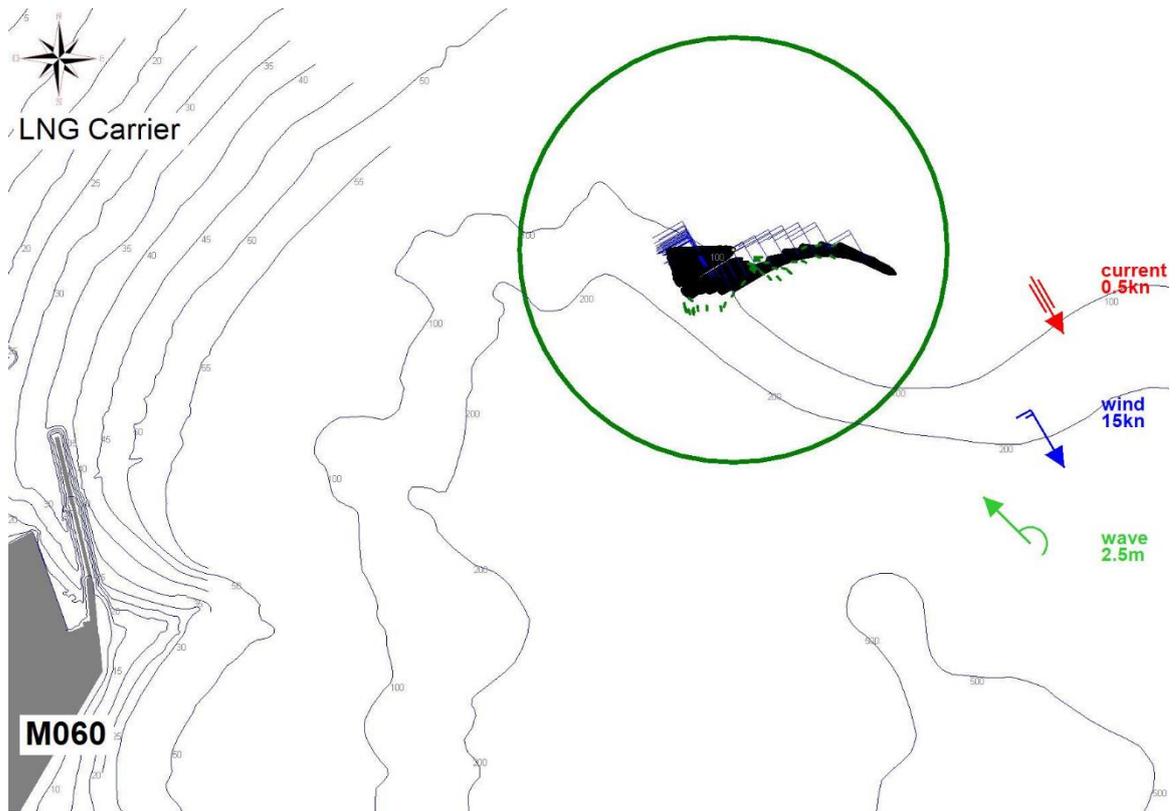


Fig. A - 7 – Manovra M060 – LNG Carrier 293m - Partenza
Maestrale 15 nodi.

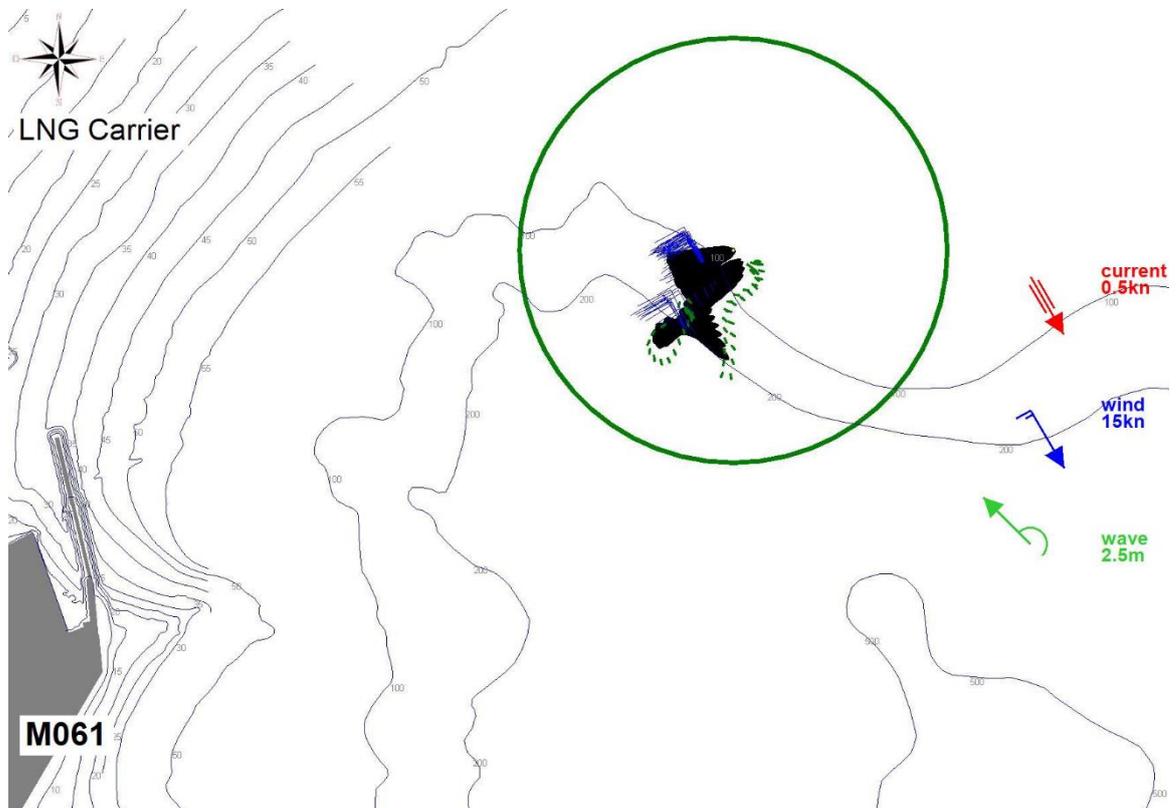


Fig. A - 8 – Manovra M061 – LNG Carrier 293m - Partenza
Maestrale 15 nodi.

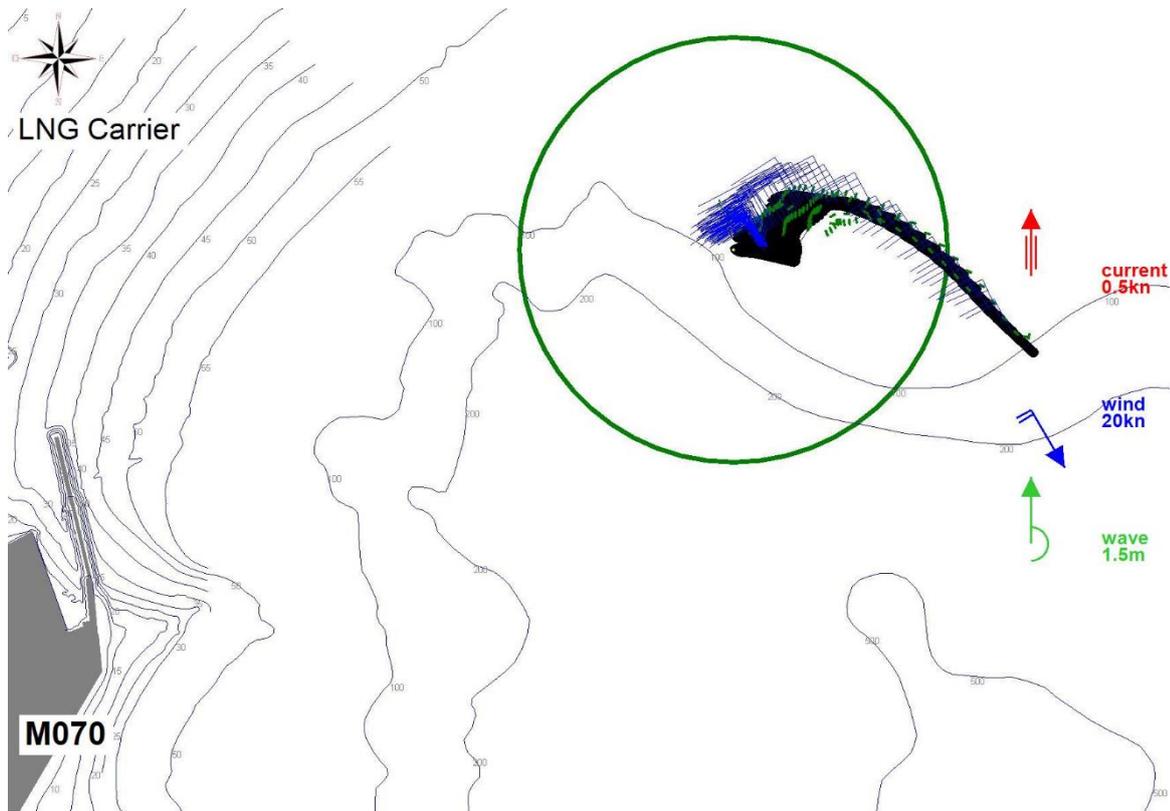


Fig. A - 9 – Manovra M070 – LNG Carrier 293m - Arrivo
Maestrale 20 nodi.

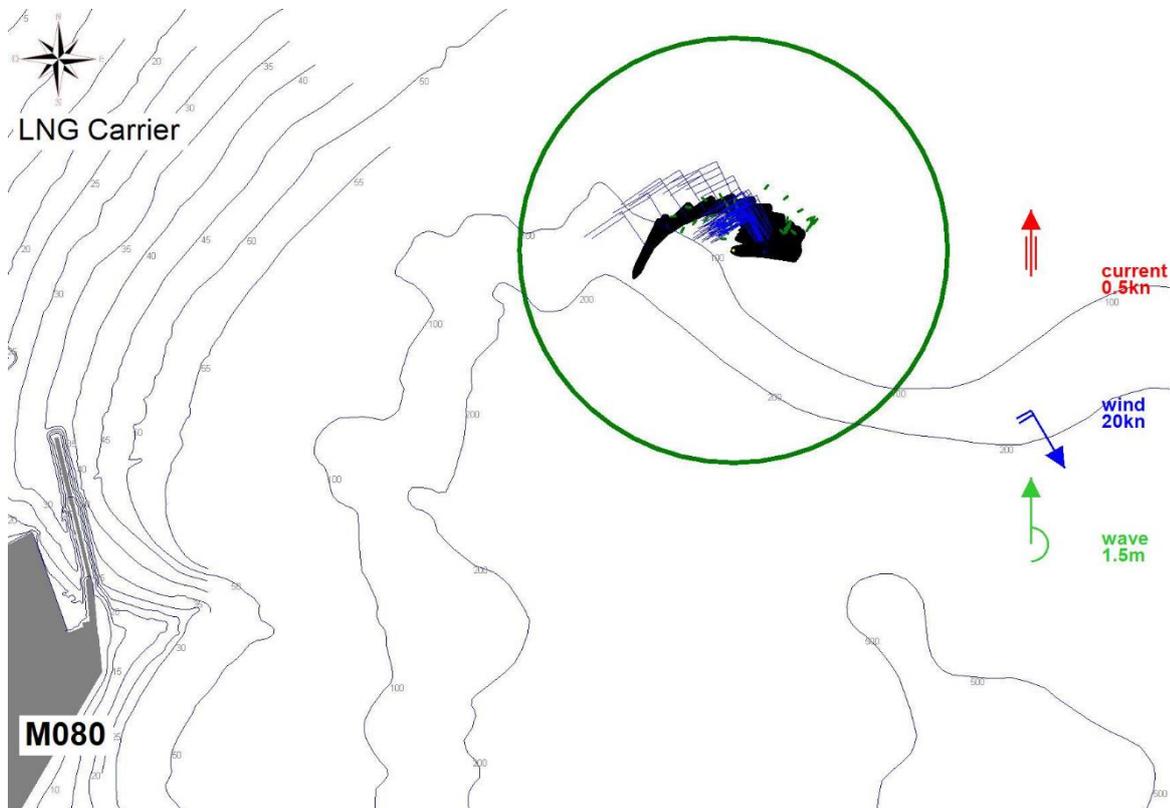


Fig. A - 10 – Manovra M080 – LNG Carrier 293m - Partenza
Maestrale 20 nodi.

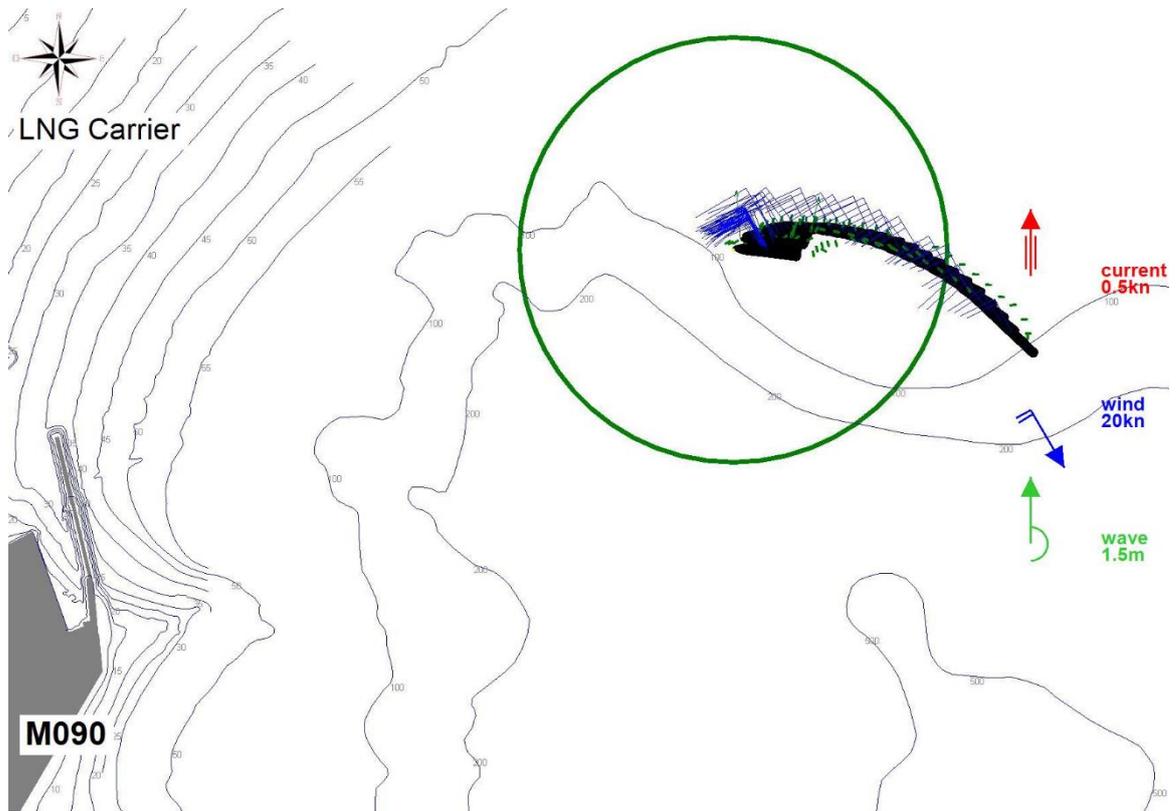


Fig. A - 11 – Manovra M090 – LNG Carrier 293m - Arrivo – **AVARIA**
Maestrale 20 nodi

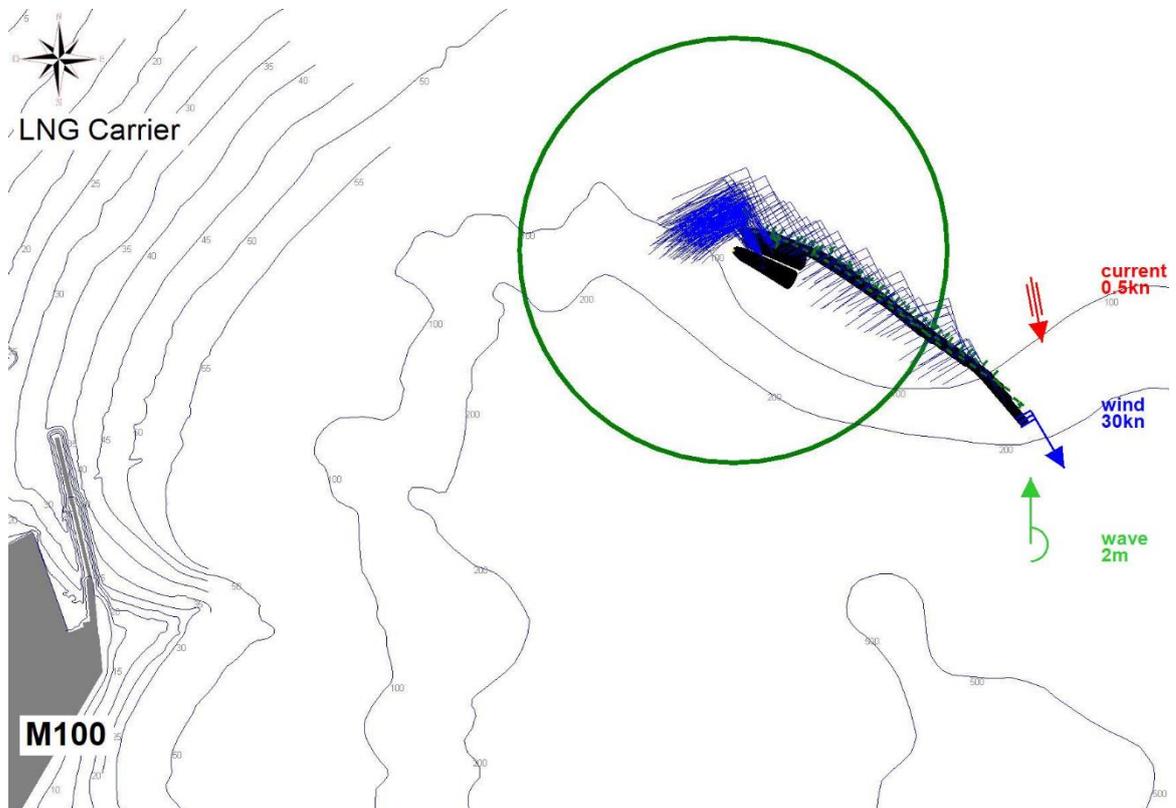


Fig. A - 12 – Manovra M100 – LNG Carrier 293m - Arrivo – **AVARIA**
Maestrale 30 nodi

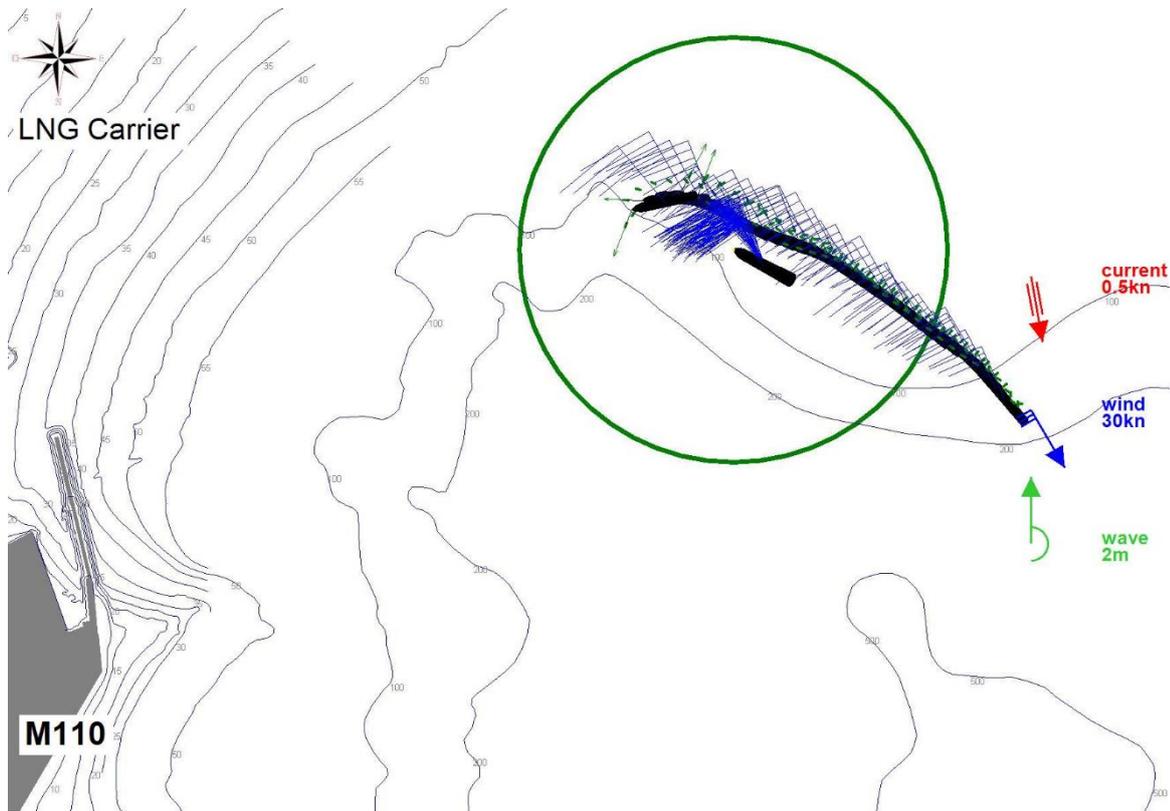


Fig. A - 13 – Manovra M110 – LNG Carrier 293m - Arrivo – **AVARIA**
Maestrale 30 nodi



Fig. A - 14 – Manovra M111 – LNG Carrier 293m - Arrivo – **AVARIA**
Maestrale 30 nodi

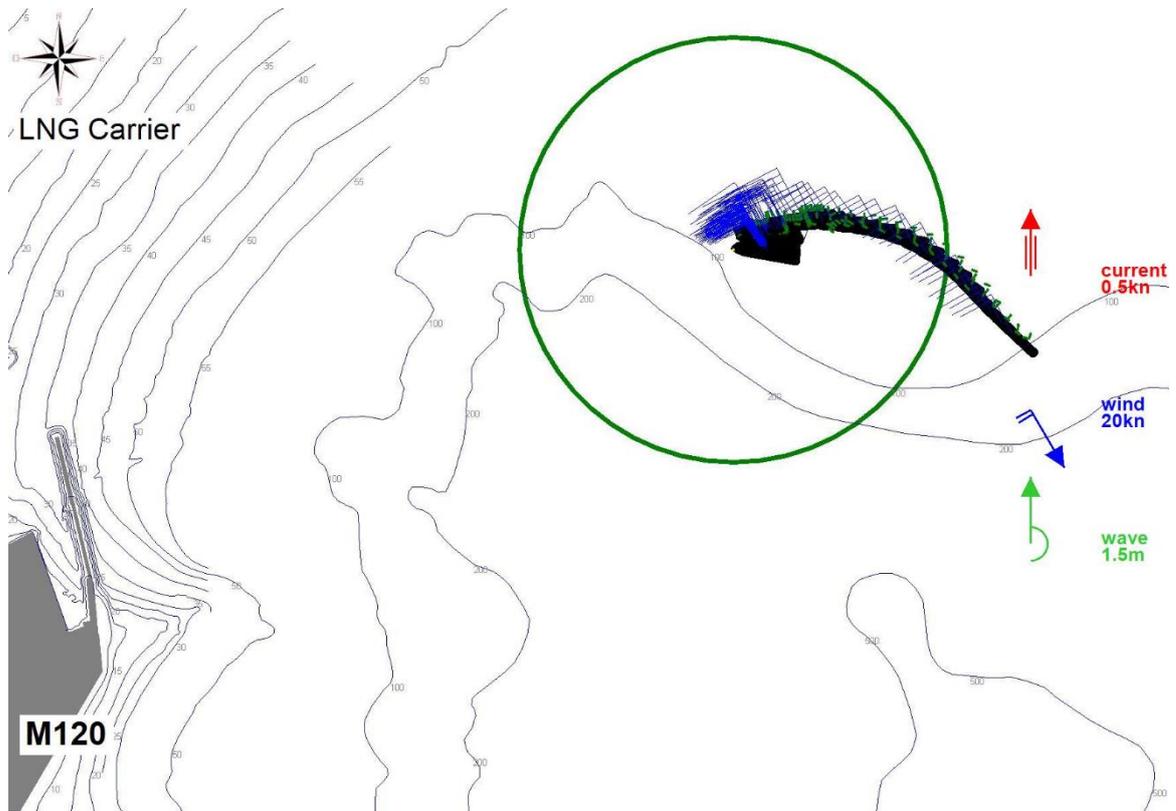


Fig. A - 15 – Manovra M120 – LNG Carrier 293m - Arrivo
Maestrale 20 nodi

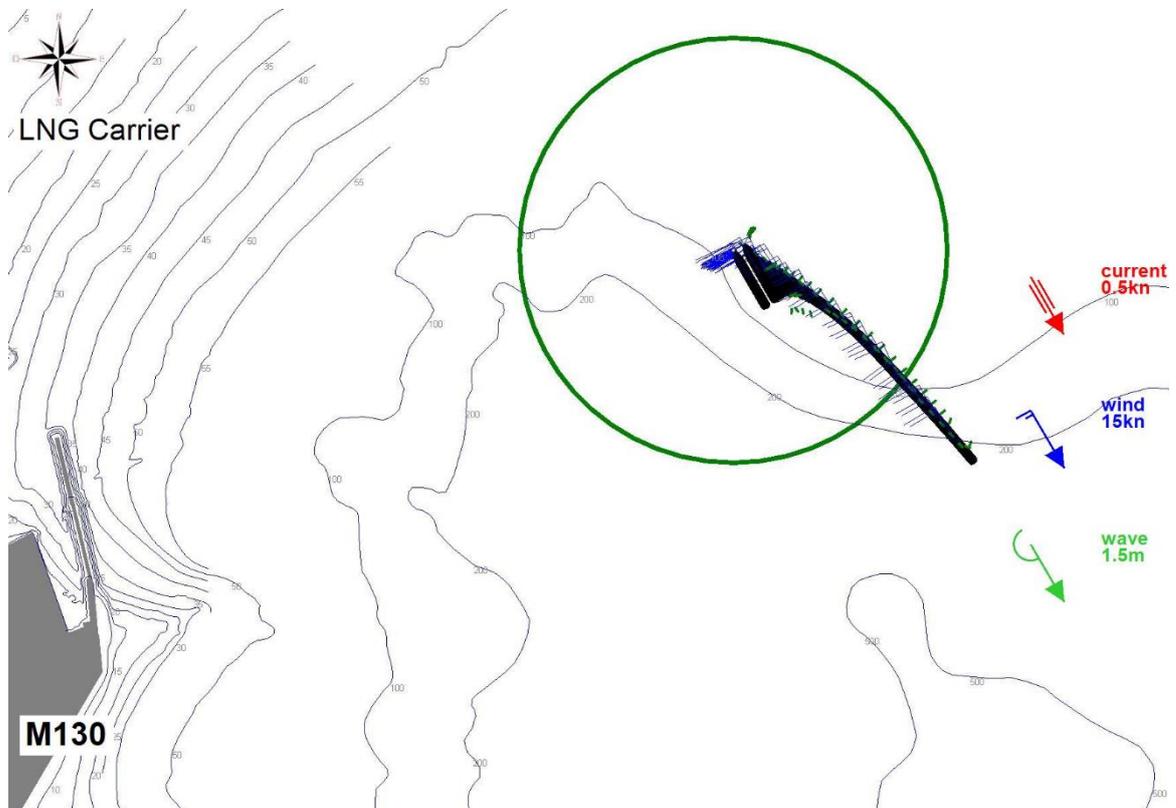


Fig. A - 16 – Manovra M130 – LNG Carrier 293m - Arrivo
Maestrale 15 nodi

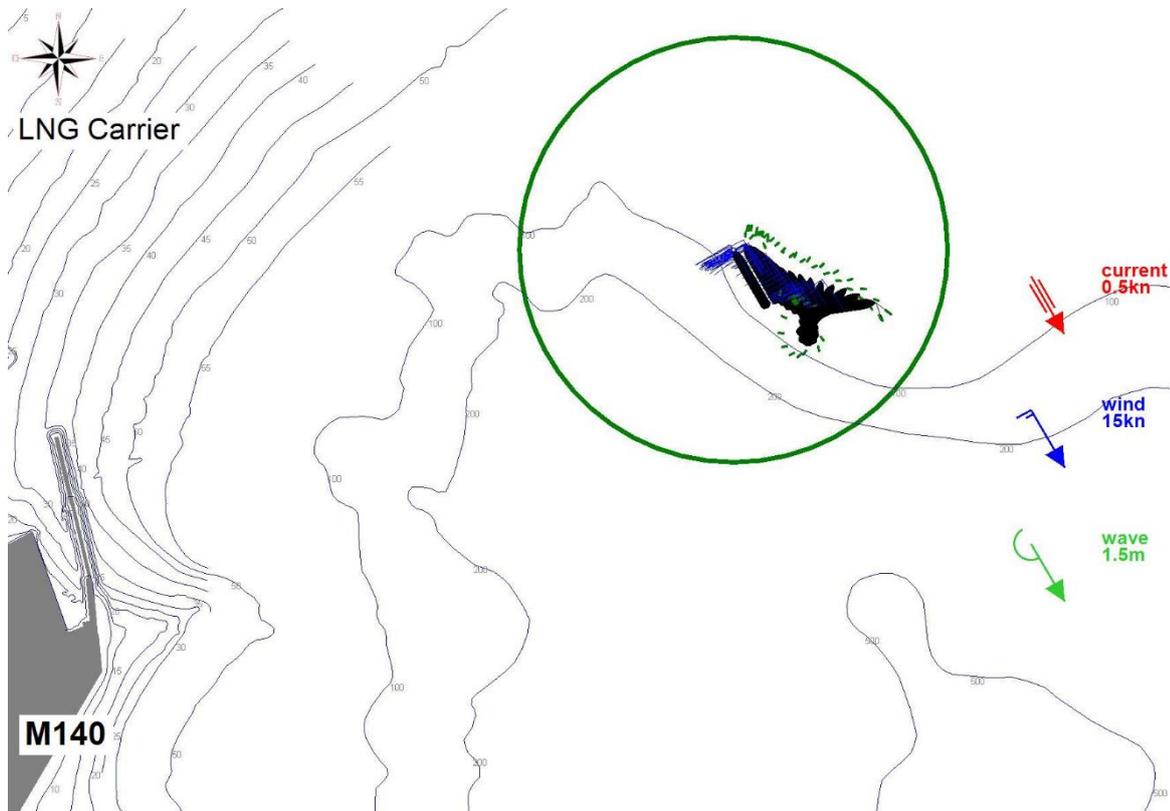


Fig. A - 17 – Manovra M140 – LNG Carrier 293m - Partenza
Maestrale 15 nodi

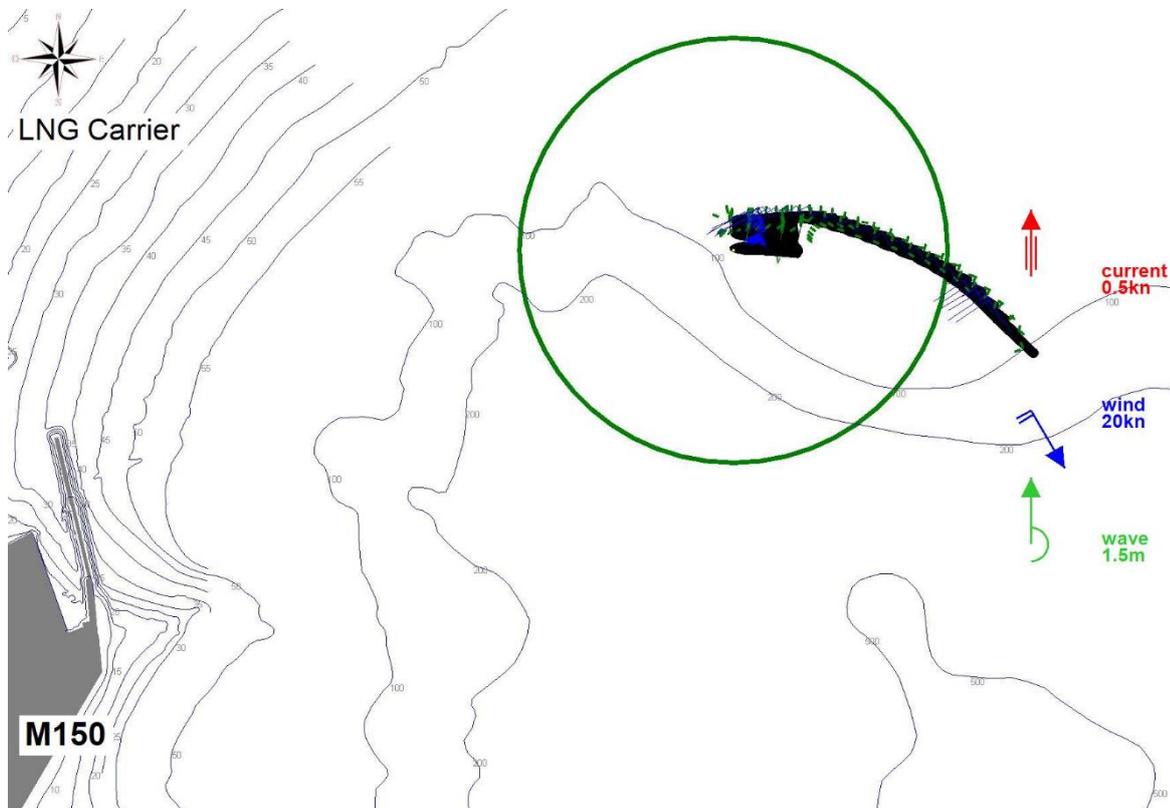


Fig. A - 18 – Manovra M150 – LNG Carrier 293m - Partenza
Maestrale 20 nodi

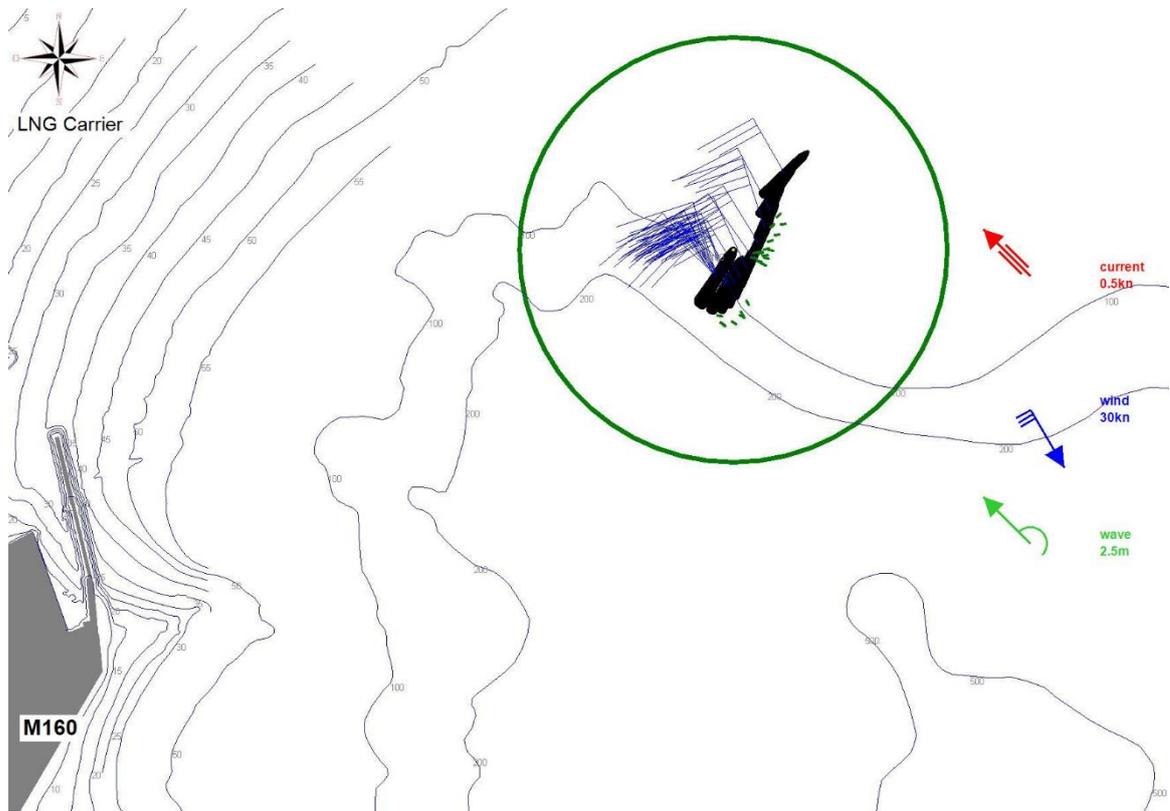
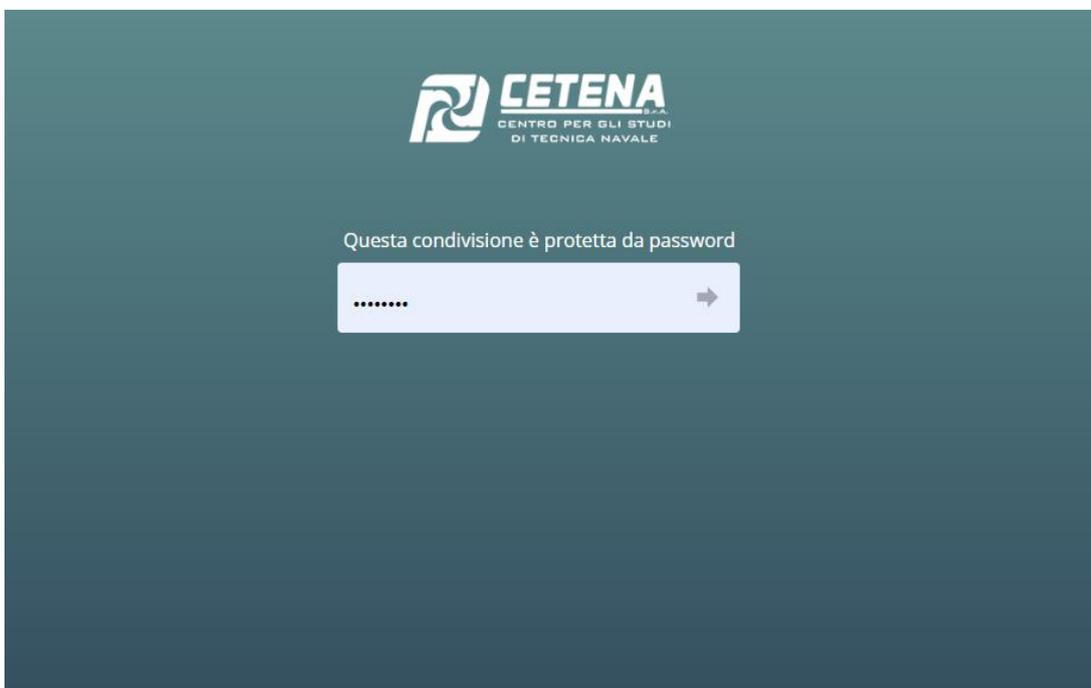


Fig. A - 19 – Manovra M160 – LNG Carrier 293m - Partenza
Maestrale 30 nodi

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 involupate 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.