

Report n. 15065


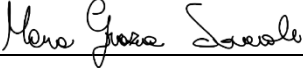


Rev. 00

Simulazioni di manovra FSRU Ravenna – Integrazione nuova configurazione diga paraonde

Autori / Authors: Daniele MILAZZO, Maria Grazia SOCIEVOLE

Data emissione / Issue date: 18/09/2023

Pagina intenzionalmente bianca / *This page intentionally left blank*

| | | |
|--|--|--|
| Report n. 15065 | Rev. 00 | Data emissione / Issue date 18/09/2023 |
| Titolo / Title Simulazioni di manovra FSRU Ravenna – Integrazione nuova configurazione diga paraonde | | |
| Autori / Authors Daniele MILAZZO, Maria Grazia SOCIEVOLE | | |
| Sommario / Abstract Il presente rapporto è finalizzato alla presentazione dei risultati delle simulazioni di manovra Real Time svolte al largo di Ravenna da parte di CETENA S.p.A. per conto di Techfem S.p.A., relativa-mente al progetto SNAM di riconver-sione della piattaforma PETRA in Terminal LNG. In particolare, è stata verificata la fattibilità delle manovre di ingresso e uscita al variare delle condizioni meteo marine tipiche del paraggio, da parte di un'unità FSRU e una nave LNG Carrier, le cui caratteristi-che sono descritte nel corso di questo documento. I test al simulatore di manovra Real Time sono stati svolti nel corso di 2 giornate di simulazione, 5 e 6 Settembre 2023, in presenza dell'intero gruppo di lavoro. | | |
| 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 50 | Commessa / Job 69160423146 | 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

| Rev. | Data / Date | Contenuto della Revisione / Revision Content | Autori / Authors |
|------|-------------|--|------------------|
| | | | |
| | | | |
| | | | |

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 considerato..... | 16 |
| 3.2 Definizione dell'area schematizzata per le simulazioni di manovra..... | 18 |
| 4 DATI GEOMETRICI DI INPUT DELLE SIMULAZIONI | 19 |
| 4.1 Caratteristiche principali FSRU | 20 |
| 4.2 Caratteristiche principali LNG Carrier 181000 m ³ | 21 |
| 4.3 Caratteristiche principali dei rimorchiatori..... | 22 |
| 5 CONDIZIONI METEOMARINE..... | 23 |
| 6 CONDIZIONI FINALI DI SIMULAZIONE E LORO ESECUZIONE..... | 24 |
| 6.1 Manovre eseguite al simulatore | 24 |
| 6.1.1 Elenco e risultati delle manovre eseguite al simulatore | 25 |
| 6.2 Presentazione dei file dei risultati delle simulazioni..... | 31 |
| 7 CONCLUSIONI | 32 |
| 7.1 Riassunto delle manovre eseguite | 34 |
| 7.2 Riassunto del lavoro – Rimorchiatori | 36 |
| 8 RIFERIMENTI..... | 37 |
| APPENDICI | 38 |
| APPENDICE A | 39 |
| ALLEGATI..... | 49 |

Indice delle Tabelle

| | |
|---|----|
| Tab. 4-1 Caratteristiche principali della FSRU. | 20 |
| Tab. 4-2 Caratteristiche principali della LNGC. | 21 |
| Tab. 5-1 Condizioni meteomarine considerate per le simulazioni. | 23 |
| Tab. 6-1 Sintesi delle manovre effettuate con la nave FSRU. | 28 |
| Tab. 6-2 Sintesi delle manovre effettuate con la nave LNG Carrier. | 30 |

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 della piattaforma offshore..... | 15 |
| Fig. 3-1 Vista attuale della piattaforma PETRA..... | 16 |
| Fig. 3-2 Layout di progetto [Rif. 1] | 17 |
| Fig. 3-3 – Layout 2D rappresentato nel simulatore WHALE, con andamento dei fondali e FSRU ormeggiata presso la piattaforma | 18 |
| Fig. 4-1 Simulatore WHALE – Durante le prove i rimorchiatori sono stati comandati tramite un touch screen dedicato. | 22 |
| Fig. 6-1 Numero manovre eseguite. | 24 |
| Fig. 7-1 - Venti ed intensità considerati durante le manovre | 34 |
| Fig. 7-2 - Numero di manovre associate a direzione e intensità di vento | 35 |

Indice delle Figure – Appendice A

| | |
|--|----|
| Fig. A - 1 – Manovra F010 – FSRU - Partenza - MANOVRA RIUSCITA Levante 35 nodi. | 40 |
| Fig. A - 2 – Manovra F011 – FSRU - Partenza – TEST Levante 35 nodi. | 40 |
| Fig. A - 3 – Manovra F020 – FSRU - Partenza - MANOVRA RIUSCITA Levante 35 nodi. | 41 |
| Fig. A - 4 – Manovra F030 – FSRU - Partenza – TEST Calma. | 41 |
| Fig. A - 5 – Manovra F031 – FSRU - Partenza – TEST Calma. | 42 |
| Fig. A - 6 – Manovra F040 – FSRU - Partenza - MANOVRA RIUSCITA Libeccio 25 nodi. | 42 |
| Fig. A - 7 – Manovra F050 – FSRU - Partenza - MANOVRA FALLITA Ponente 30 nodi. | 43 |
| Fig. A - 8 – Manovra F060 – FSRU - Partenza - MANOVRA RIUSCITA AL LIMITE Ponente 30 nodi. | 43 |
| Fig. A - 9 – Manovra F061 – FSRU - Partenza - MANOVRA RIUSCITA Ponente 30 nodi. | 44 |
| Fig. A - 10 – Manovra F070 – FSRU - Partenza - MANOVRA RIUSCITA Ponente 30 nodi. | 44 |
| Fig. A - 11 – Manovra F080 – FSRU - Partenza - MANOVRA RIUSCITA Ponente 35 nodi. | 45 |
| Fig. A - 12 – Manovra F090 – FSRU - Partenza - MANOVRA FALLITA Maestrale 25 nodi. | 45 |
| Fig. A - 13 – Manovra C010 – LNGC - Arrivo - MANOVRA RIUSCITA Grecale 25 nodi. | 46 |
| Fig. A - 14 – Manovra C011 – LNGC - Arrivo - MANOVRA RIUSCITA Grecale 25 nodi. | 46 |
| Fig. A - 15 – Manovra C020 – LNGC - Arrivo - MANOVRA RIUSCITA Maestrale 25 nodi. | 47 |
| Fig. A - 16 – Manovra C021 – LNGC - Arrivo - MANOVRA RIUSCITA Maestrale 25 nodi. | 47 |
| Fig. A - 17 – Manovra C030 – LNGC - Partenza - MANOVRA RIUSCITA Maestrale 25 nodi. | 48 |
| Fig. A - 18 – Manovra C040 – LNGC - Arrivo - MANOVRA RIUSCITA Grecale 30 nodi. | 48 |

INTRODUZIONE

Il presente rapporto è finalizzato alla presentazione dei risultati delle simulazioni di manovra Real Time svolte al largo di Ravenna da parte di CETENA S.p.A. per conto di Techfem S.p.A., relativamente al progetto SNAM di riconversione della piattaforma PETRA in Terminal LNG. In particolare, è stata verificata la fattibilità delle manovre di ingresso e uscita al variare delle condizioni meteo marine tipiche del paraggio, da parte di un'unità FSRU e una nave LNG Carrier, le cui caratteristiche sono descritte nel corso di questo documento.

I test al simulatore di manovra Real Time sono stati svolti nel corso di 2 giornate di simulazione, **5 e 6 Settembre 2023**, in presenza dell'intero gruppo di lavoro. In particolare, le manovre sono state eseguite dai Piloti del Porto di Ravenna coadiuvati da un esperto esecutore messo a disposizione da CETENA, ex-Capo dei Piloti del Porto di Genova (Com. G. Lettich) e dal personale CETENA.

Durante la giornata di lavoro al simulatore sono intervenuti gli operatori interessati allo svolgimento dello studio, appartenenti ai seguenti Enti: Capitaneria di Porto di Ravenna, Techfem S.p.A e Snam Rete Gas.

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 messo a disposizione da CETENA |
| Com. R. Bunicci | Corpo Piloti di Ravenna | Esecuzione delle manovre al simulatore |
| Com. S. Busacca | | |
| C.F. L. Aloia | Capitaneria di Porto | Supervisione alle manovre |
| T.V. G. Caputo | | |
| Lgt Np. G. De Sarlo | | |
| C.F. M. Pennisi | | Supervisione alle manovre (da remoto) |
| Ing. G. Lanza | Snam Rete Gas | Supervisione alle manovre |
| Ing. A. Cabra | | |
| Ing. A. Gasdia | | |
| Cap. D. Isola | | |
| Prof. P. De Girolamo | Università di Roma "La Sapienza" | Supervisione alle manovre (da remoto) |
| Dott.ssa M. Castellino | | |

| | | |
|-----------------------------|---------------|--|
| Dott. M. Del Bianco | | |
| Ing. D. Milazzo | CETENA S.p.A. | Preparazione degli scenari e setup delle funzionalità del simulatore. Post-processing dei risultati. Redazione del rapporto tecnico finale |
| 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).

L'area del Progetto è investigata e simulata per le manovre di ormeggio, disormeggio e transito lungo il canale di approccio del Progetto FSRU Ravenna dalla stessa CETENA (si veda a riguardo il rapporto tecnico RTC 14708 Rev.02 del 24 ottobre 2022)), indentificando la larghezza del canale di approccio pari a 500 m e il diametro del cerchio di evoluzione pari a 800 m. Ciò ha consentito di focalizzare il presente studio, nella configurazione di progetto aggiornata, sulle manovre di disormeggio della FSRU in condizioni meteo severe e sulle manovre di ormeggio e disormeggio delle LNG Carrier.

In particolare, è stata verificata la fattibilità delle manovre di ingresso, uscita al variare delle condizioni meteo marine tipiche del paraggio, da parte di una unità FSRU e una LNG Carrier rifornitrice presso la piattaforma PETRA, relativamente al progetto SNAM di riconversione del sito in Terminal LNG.

Il presente studio è stato effettuato considerando due diverse tipologie navali. In particolare, è stata considerata un'unità di tipo FSRU (di dimensioni pari a 292.6 m x 43.4 m x 12.5 m), una di tipo LNG Carrier (di dimensioni pari a 300 m x 50 m x 12.5 m).

Per quanto riguarda le condizioni meteomarine, nello studio è stato considerato vento proveniente da tutti e quattro i quadranti con direzioni da 60°N (Grecale), 80°N (Levante), 240°N (Libeccio), 270°N (Ponente) e 315° (Maestrale), di intensità variabile tra i 25 e i 35 nodi di velocità. Le condizioni più severe studiate relativamente al III e IV quadrante (vento 35kn, onda 1.5m) sono statisticamente associate ad un tempo di ritorno di 100 anni. L'agitazione ondosa è stata considerata compresa tra 1 m e 2 m. Le caratteristiche di dettaglio del layout della piattaforma, delle navi simulate e delle condizioni meteomarine utilizzate negli scenari del simulatore sono descritte nel seguito del presente documento.

1.1 Definizione degli obiettivi

Il principale obiettivo di questo studio al simulatore eseguito da CETENA è la valutazione della manovrabilità da parte di una unità FSRU e una LNG Carrier rifornitrice in relazione al progetto SNAM di riconversione della piattaforma PETRA, al largo di Ravenna, in terminal LNG, studiando sia l'adeguatezza delle aree dragate, sia l'evoluzione nelle fasi finali di accosto delle manovre di arrivo e il distacco della nave in partenza.

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

- la verifica dell'*adeguatezza dello specchio acqueo* a disposizione di diverse tipologie navali per poter compiere le manovre di ormeggio, disormeggio in funzione delle condizioni meteomarine;
- 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.

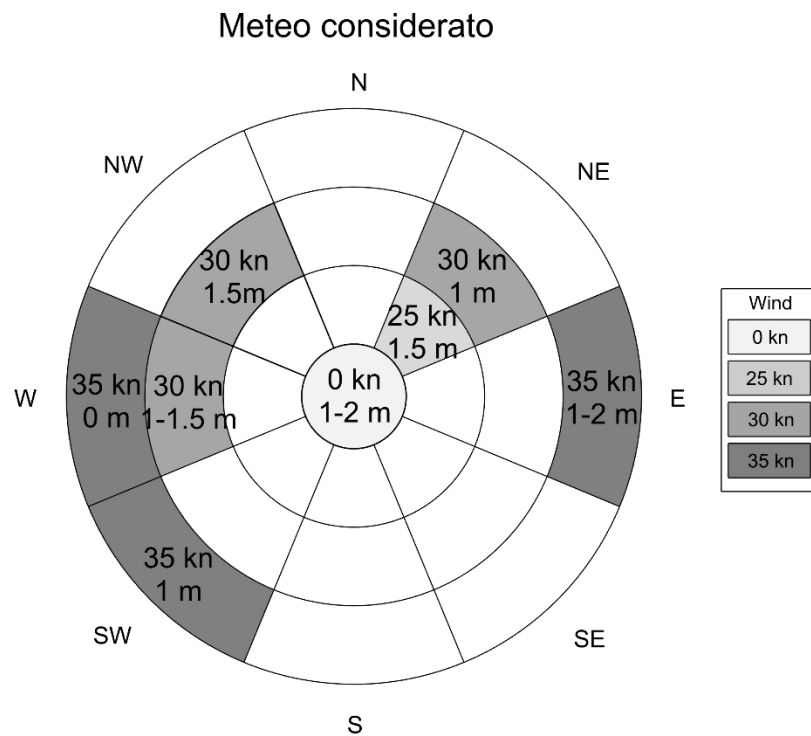


Fig. 1-1 Direzione ed intensità dei venti considerati durante le manovre.

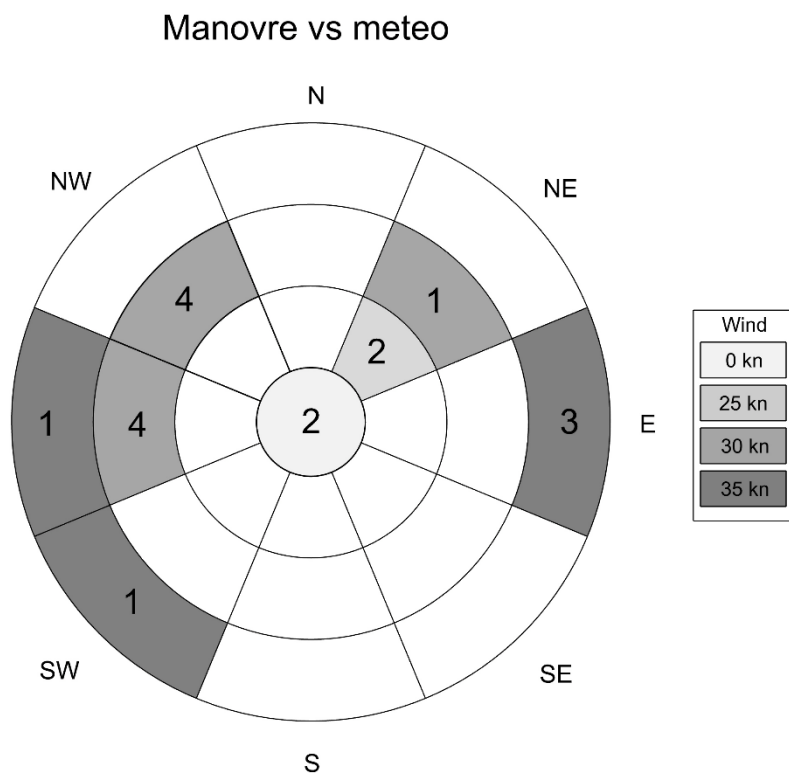


Fig. 1-2 Numero di manovre eseguite al simulatore, associate alla direzione e intensità del vento

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.

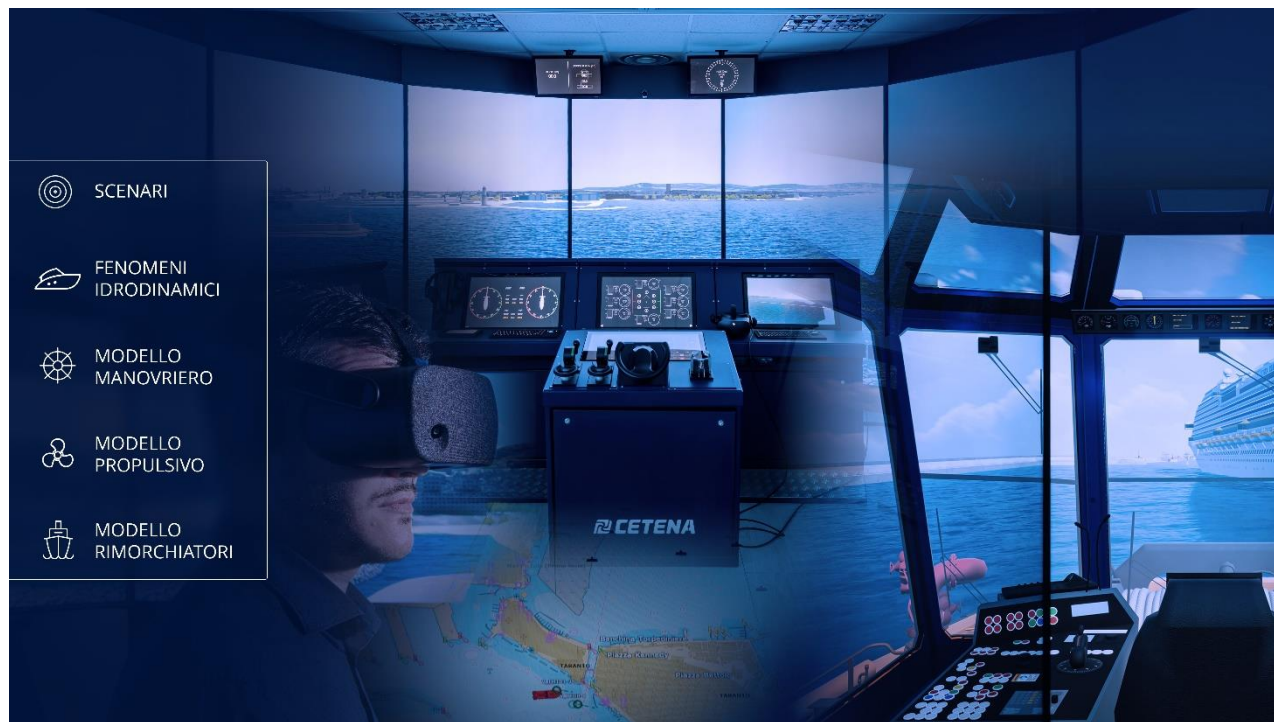


Fig. 2-1 Principali blocchi del modello matematico del simulatore

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.



Fig. 2-4 Simulatore di manovra

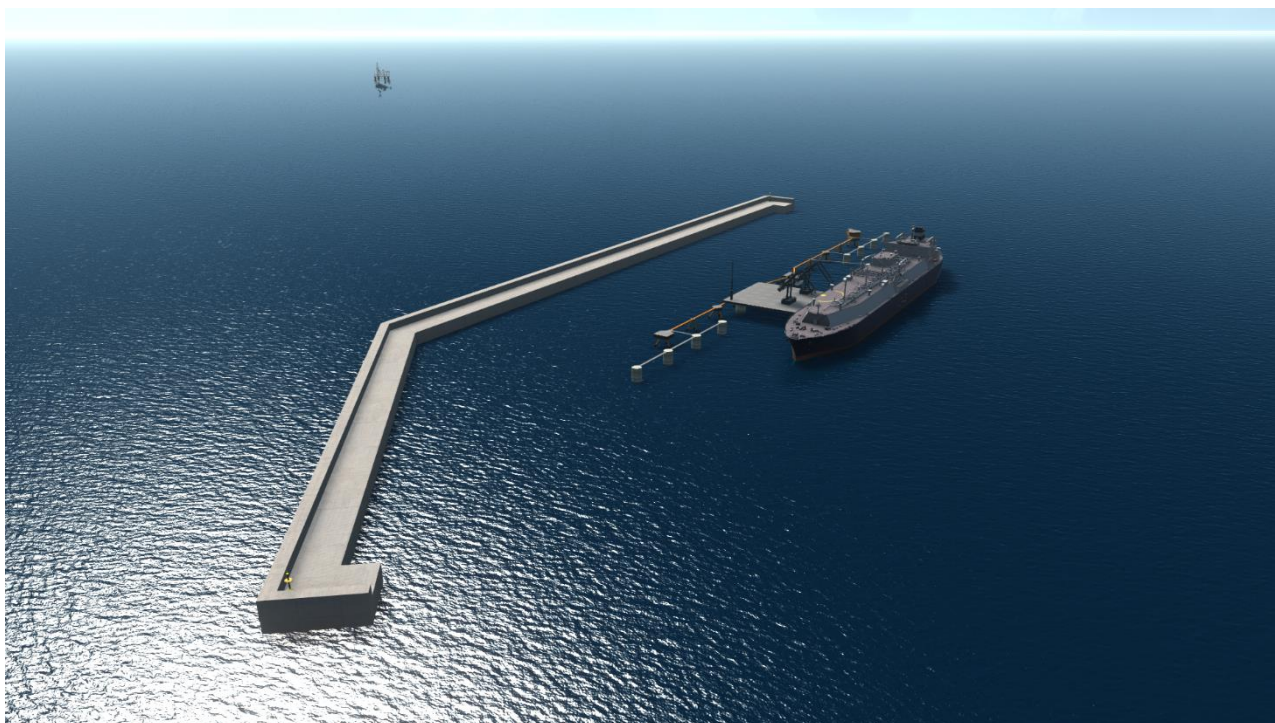


Fig. 2-5 Simulatore di manovra – Scenario 3D della piattaforma offshore.

3 Configurazione portuale e condizioni generali delle simulazioni di manovra

3.1 Descrizione del layout considerato

La piattaforma PETRA è una piattaforma offshore del Gruppo PIR (Petroliera italo rumena), realizzata alla fine degli anni '80 e destinata alle navi petroliere, situata circa 8.5 km al largo di Punta Marina, nelle acque antistanti il Porto di Ravenna. La piattaforma offshore Petra ha una lunghezza di circa 350m, è alta circa 11.5m e consentiva l'attracco di petroliere con stazza (DWT) da 18.000 a 80.000 tons con lunghezze comprese tra 160 e 270m ed un pescaggio massimo di 11.5m.

Una vista dall'alto della piattaforma attuale è riportata in Fig. 3-1.



Fig. 3-1 Vista attuale della piattaforma PETRA.

Il progetto prevede la riconversione della piattaforma esistente in terminal LNG, prevedendo l'ormeggio di un'unità di stoccaggio e rigassificazione galleggiante (FSRU, Floating Storage Regasification Unit, in grado di stoccare e vaporizzare gas naturale liquefatto (LNG)) e realizzando un'opera a protezione del terminal dagli stati di mare più severi provenienti dal primo e secondo quadrante.

Durante le simulazioni è stata considerata la configurazione aggiornata della diga paraonde [Rif. 1], la quale prevede l'avvicinamento della diga frangiflutti a circa 140 m a levante della Piattaforma PETRA. Il canale e l'area di manovra sono stati traslati verso N al fine di mantenere una distanza di sicurezza di 50m tra il piede di scarpata alla base della diga e il canale dragato.

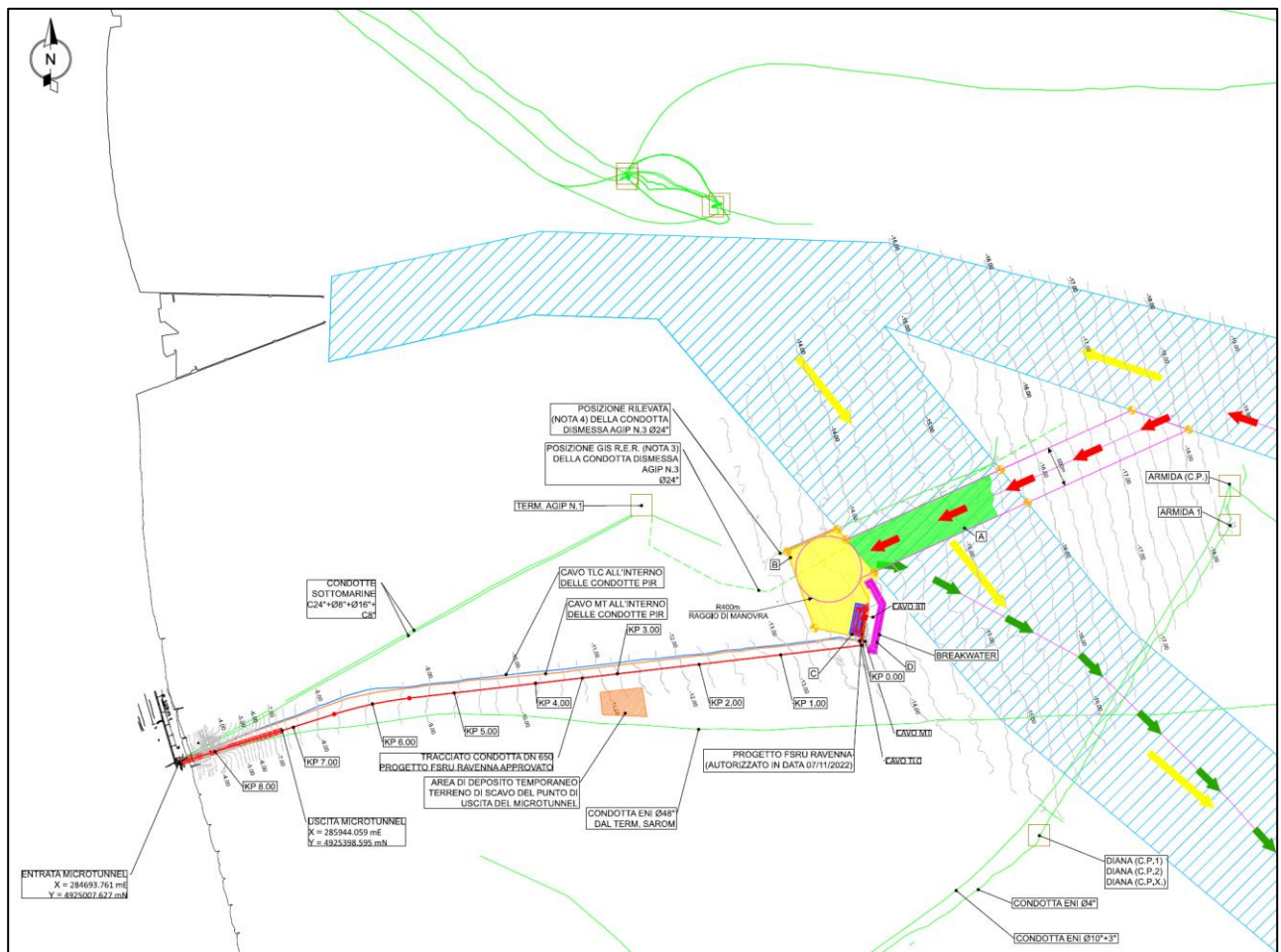


Fig. 3-2 Layout di progetto [Rif. 1]

La *batimetria* dell'area di manovra è stata oggetto dello studio. Il canale di accesso alla piattaforma e all'area di manovra, dragato a quota -15.4m, presenta una larghezza pari a 500m come verificato nei precedenti studi [Rif. 2]. Il cerchio di evoluzione all'interno dell'area di manovra dragata presenta un diametro di circa 800m.

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 sono riportati inoltre il contorno dello schema di separazione e il canale di approccio alla piattaforma (avente larghezza pari a 500m, linee rosa) e la FSRU in ingombro all'ormeggio presso la piattaforma in studio (*silhouette* in rosa).

Come verrà illustrato nel corso di questo rapporto tecnico, per ogni configurazione meteomarina sono state prese in considerazione le distribuzioni tipiche di vento, moto ondoso e corrente all'interno del paraggio in studio, impostando i relativi parametri numerici di cui tener conto di volta in volta nell'impostazione della tecnica di manovra al simulatore.

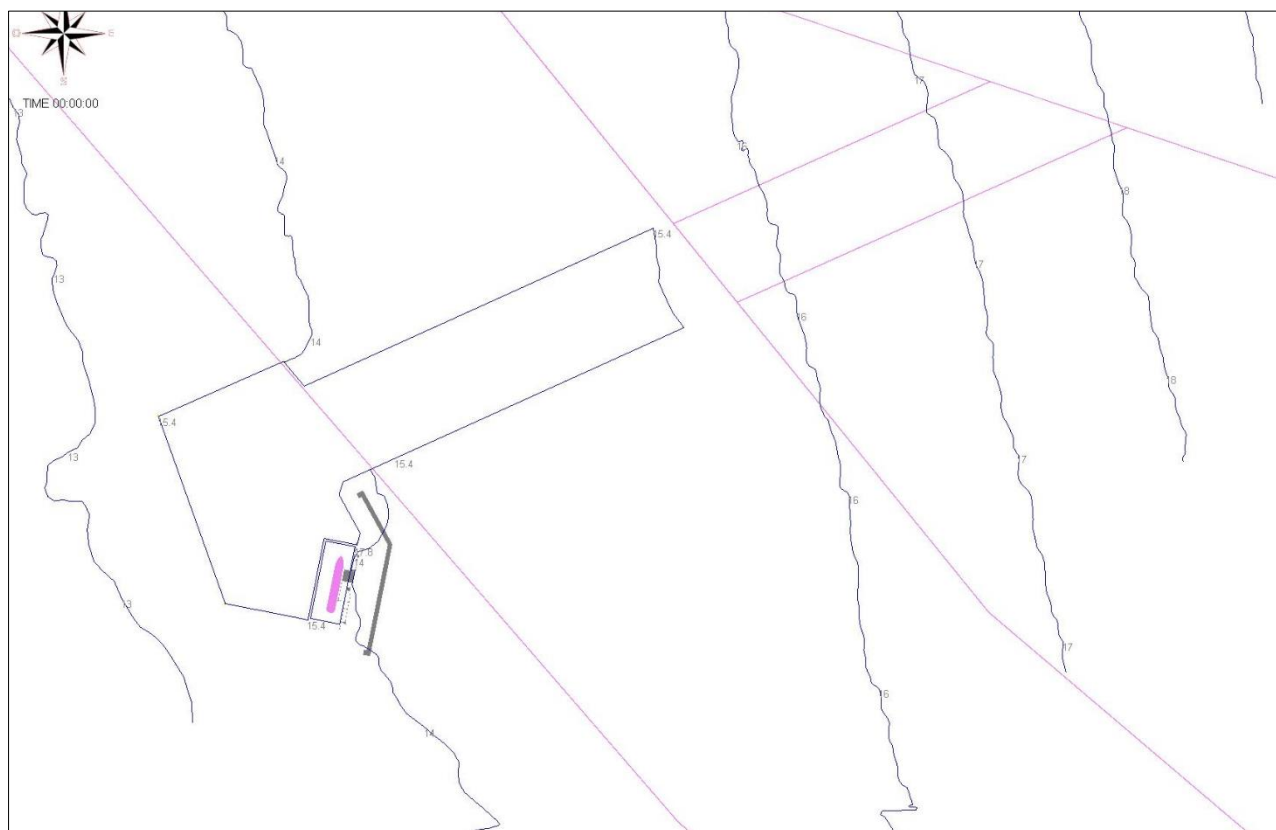


Fig. 3-3 – Layout 2D rappresentato nel simulatore WHALE, con andamento dei fondali e FSRU ormeggiata presso la piattaforma

4 DATI GEOMETRICI DI INPUT DELLE SIMULAZIONI

Nel seguito vengono illustrate le caratteristiche principali delle unità navali prese in considerazione per questo studio di manovrabilità, nello specifico un'unità tipo FSRU e un'unità 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 dei Piloti.

Le *caratteristiche dei rimorchiatori*, ovvero la taglia e le tempistiche di intervento, sono state concordate con i Piloti, considerando rimorchiatori di taglia appropriata alle caratteristiche delle navi simulate.

4.1 Caratteristiche principali FSRU

Le caratteristiche principali della FSRU sono state riassunte nella tabella seguente. La nave è monaelica 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 | - | kW |

Tab. 4-1 Caratteristiche principali della FSRU.

4.2 Caratteristiche principali LNG Carrier 181000 m³

Le caratteristiche principali della LNG Carrier 181000 m³ 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 LNGC.

4.3 Caratteristiche principali dei rimorchiatori

In generale, 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 dei Piloti presenti alle prove, fosse di volta in volta necessario al fine di poter manovrare in sicurezza nelle diverse condizioni meteomarine considerate. In particolare, sono state effettuate simulazioni considerando tre flotte di rimorchiatori composte da unità di diversa potenza:

- n°2 rimorchiatori da 80t di Bollard Pull;
- n°3 rimorchiatori da 70t di Bollard Pull e n°2 rimorchiatori da 80t di Bollard Pull;
- n°4 rimorchiatori da 80t 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, i 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.

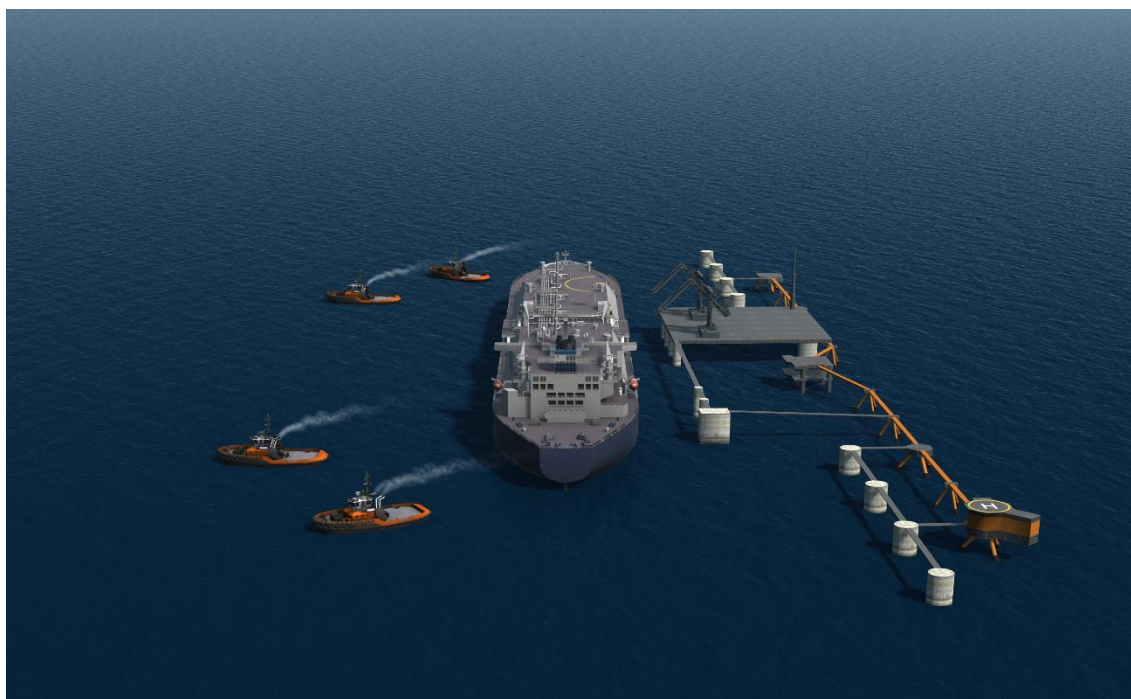


Fig. 4-1 Simulatore WHALE – Durante le prove i rimorchiatori sono stati comandati tramite un touch screen dedicato.

5 CONDIZIONI METEOMARINE

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

Con riferimento agli obiettivi di questo studio di manovrabilità, per lo svolgimento delle simulazioni sono state scelte le condizioni meteomarine più severe per il paraggio di Ravenna, ovvero vento proveniente da tutti e quattro i quadranti con direzioni da 60°N (Grecale), 80°N (Levante), 225°N (Libeccio), 270°N (Ponente) e 315° (Maestrale), di intensità variabile tra i 25 e i 35 nodi di velocità. L'agitazione ondosa è stata considerata compresa tra 1 m e 2 m con direzione di provenienza coerente alla direzione del vento considerato. In ogni scenario meteo marino considerato è stata considerata la presenza di corrente associata di intensità e direzione coerente con l'esperienza dei Piloti del Porto di Ravenna. Le condizioni più severe studiate relativamente al III e IV quadrante (vento 35kn, onda 1.5m) sono statisticamente associate ad un tempo di ritorno di 100 anni.

Inoltre, durante lo svolgimento delle manovre, non è stato considerato l'effetto di protezione e smorzamento del moto ondoso dovuto alla presenza delle strutture fisse di protezione (diga paraonde) anche quando queste fossero fisicamente presenti all'interno dello scenario. In queste sessioni di simulazione la presenza della diga paraonde ha avuto esclusivamente scopo di ingombro fisico e visivo e non ha avuto alcuna influenza sulla dinamica della nave.

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

| CONDIZIONI METEOMARINE | | | | | |
|---|-----------------------------------|--------|-----------|---------------------------------------|-----------------|
| Simulazioni di Manovrabilità – FSRU Ravenna | | | | | |
| DIR. / INTENSITA' VENTO | CARATTERISTICHE MARE ASSOCIATO | | | CARATTERISTICHE CORRENTE ASSOCIATA | |
| | Hs [m] | Tp [s] | Dir. [°N] | Int. [kn] | Dir. Verso [°N] |
| ENE (60°N) – Grecale, 25 kn | 1.5 | 6.0 | 60° | 0.5 | 180° |
| ENE (60°N) – Grecale, 30 kn | 1 | 5.5 | 30° | 1.5 | 180° |
| E (80°N) – Levante, 35 kn | 1 | 5.5 | 80° | 0.5 | 180° |
| E (80°N) – Levante, 35 kn | 2 | 6.5 | 80° | 1 | 180° |
| WSW (240°N) – Libeccio, 35kn | 1 | 5.5 | 240° | 0.5 | 180° |
| W (270°N) – Ponente, 30 kn | 1 | 5.5 | 270° | 0.5 | 180° |
| W (270°N) – Ponente, 30 kn | 1.5 | 6.0 | 270° | 0.5 | 180° |
| W (270°N) – Ponente, 35 kn | 0.0 | 0.0 | -° | 0.5 | 0° |
| NW (315°N) – Maestrale, 30 kn | 1.5 | 6.0 | 315° | 0.5 | 180° |

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 **5 e 6 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 della giornata durante una riunione collegiale conclusiva, in cui è stato possibile raccogliere anche le osservazioni dei Piloti e della Capitaneria di Porto.

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

6.1 Manovre eseguite al simulatore

In totale sono state eseguite n. 18 manovre. In Fig. 6-1 è riportata una schematizzazione del numero di manovre eseguite al simulatore:

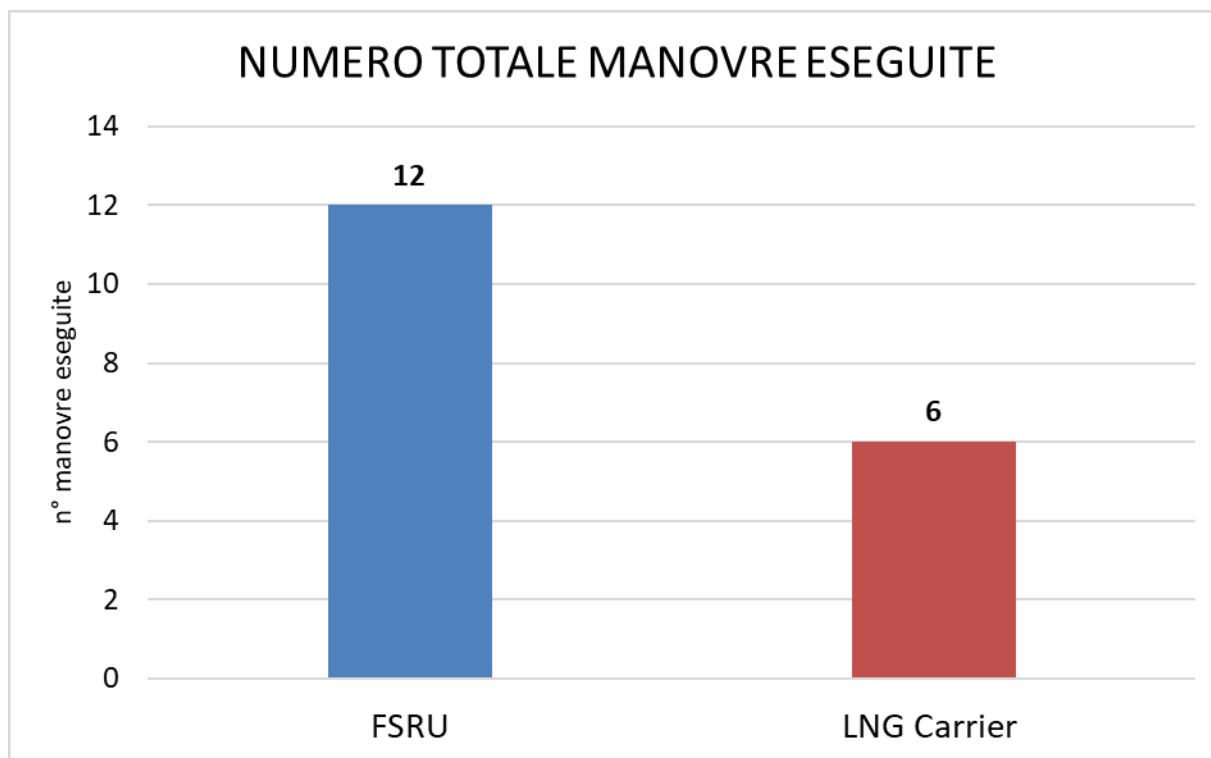


Fig. 6-1 Numero manovre eseguite.

6.1.1 Elenco e risultati delle manovre eseguite al simulatore

Per quanto riguarda la tecnica delle manovre di *ingresso*, 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 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 manovra.

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 alla banchina, 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 manovra.

Nella tabella seguente 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 (**F** = FSRU, **C** = LNG Carrier), mentre il numero indica la numerazione progressiva delle manovre svolte con tale unità;
- **NAVE**: l'unità navale impiegata;
- **LAYOUT**: layout considerato;
- **CONDIZIONI METEOMARINE**: il dettaglio delle condizioni meteomarine (direzione e intensità in nodi del vento, direzione, altezza d'onda significativa e periodo dell'agitazione ondosa presente, direzione e intensità in nodi della corrente);
- **TIPO (A/D)**: il tipo di manovra (**A** = arrivo, **D** = partenza);
- **INGOMBRO**: gli ingombri presenti (FSRU ormeggiata presso la Piattaforma PETRA);
- **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 | LAYOUT | CONDIZIONI METEOMARINE | | | | | | | | TIPO MANOVRA | INGOM- BRO | 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] | | | | | | | |
| F010 [19 min] | FSRU | CON diga paraonde – GIORNO | 80 | 35 | 80 | 1 | 5.5 | 180 | 0.5 | D | - | Piattaforma | 2 | 80 | MANOVRA RIUSCITA La manovra di partenza inizia con 2 rimorchiatori alla spinta da 80t sul fianco di sinistra, a prua e a poppa. Lavorano inizialmente all'80% della loro potenza, per controllare la nave che è spinta dal vento verso il largo. Di seguito il rimorchiatore di prua riduce la potenza progressivamente dal 60% fino al 30%, man mano che la nave si discosta dalla piattaforma. Il rimorchiatore di poppa continua a lavorare all'80%. Successivamente anche il rimorchiatore di poppa diminuisce la propria potenza. Quando la nave è distanziata, esce dalla zona dragata a -17.6 m, orienta la prua in direzione del canale dragato in modo da poter navigare in acque sicure e libere da ostacoli. I rimorchiatori vengono liberati. La nave termina la manovra attraverso il canale dragato a circa 5 kn. | |
| F011 [6 min] | FSRU | CON diga paraonde – GIORNO | 80 | 35 | 80 | 1 | 5.5 | 180 | 1 | D | - | Piattaforma | 2 | 80 | TEST Ripetizione della manovra precedente (F010) ma con 1 kn di corrente. La manovra di partenza inizia con 2 rimorchiatori alla spinta da 80t sul fianco di sinistra, rispettivamente posizionati a prua e a poppa. Entrambi lavorano per controllare la nave che è spinta dal vento verso il largo, inizialmente all'90% della loro potenza. La nave si appoggia ai parabordi della piattaforma. La nave inizia a scostarsi a prua. Il rimorchiatore di prua viene angolato a 75 gradi. | |
| F020 [14 min] | FSRU | CON diga paraonde – GIORNO | 80 | 35 | 80 | 2 | 6.5 | 180 | 1 | D | - | Piattaforma | 2 | 80 | MANOVRA RIUSCITA La manovra di partenza inizia con 2 rimorchiatori alla spinta da 80t sul fianco di sinistra, rispettivamente posizionati a prua e a poppa. Lavorano inizialmente all'100% della loro potenza per controllare la nave che è spinta dal vento verso il largo. La nave comincia a scostarsi dalla piattaforma. Il rimorchiatore di prua riduce la sua potenza. Quando la nave è distanziata, esce dalla zona dragata a -17.6 m e orienta la prua in direzione del canale dragato in modo da poter navigare in acque sicure e libere da ostacoli. I rimorchiatori vengono liberati. La nave termine la manovra attraverso il canale dragato a circa 5 kn. | |
| F030 [7 min] | FSRU | CON diga paraonde – GIORNO | 0 | 0 | 0 | 2 | 6.5 | 180 | 1 | D | - | Piattaforma | 2 | 80 | TEST Test per verificare la sola azione dell'onda sullo scafo La manovra di partenza inizia con 2 rimorchiatori alla spinta da 80t sul fianco di sinistra, rispettivamente posizionati a prua e a poppa. Lavorano inizialmente all'40% della loro potenza e riescono a scostare la nave dalla piattaforma. I rimorchiatori vengono ridotti al 30% e in questo caso la poppa non riesce ad essere controllata al meglio. Al minuto 4 l'onda viene diminuita a 1m. In questo caso, con entrambi i rimorchiatori al 30% della potenza la nave lentamente riesce ad allontanarsi, con la prua che tende ad orientarsi verso l'uscita. Ora la potenza è ridotta al 25% per entrambi i rimorchiatori. Infine, viene utilizzato solo il rimorchiatore di prua al 50% per aiutare la nave ad allottare la poppa dalla piattaforma. | |

| ID MANOVRA DURATA | NAVE | LAYOUT | CONDIZIONI METEOMARINE | | | | | | | TIPO MANOVRA | INGOM- BRO | 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] | | | | | | |
| F031 [7 min] | FSRU | CON diga paraonde – GIORNO | 0 | 0 | 0 | 1 | 5.5 | 180 | 1 | D | - | Piattaforma | 2 | 80 | TEST Ripetizione della manovra precedente (F030). La manovra di partenza inizia con 2 rimorchiatori alla spinta da 80t sul fianco di sinistra, a prua e a poppa. Entrambi lavorano inizialmente al 10% della loro potenza e riescono a scostare la nave dalla piattaforma. |
| F040 [21 min] | FSRU | CON diga paraonde – GIORNO | 240 | 25 | 240 | 1 | 5.5 | 180 | 0.5 | D | - | Piattaforma | 2 | 80 | MANOVRA RIUSCITA La manovra di partenza inizia con 2 rimorchiatori al cavo (45 m) posizionati a traverso, uno a prua e una a poppa che iniziano a tirare al 50% della loro potenza. Il vento tende a spingere la nave verso la piattaforma. La nave si appoggia sui parabordi. I rimorchiatori aumentano il tiro all'80% fino ad arrivare al 100%. La nave si scosta dalla piattaforma. Il tiro viene ridotto nuovamente all'80%. Quando la nave è sufficientemente distanziata dal terminal viene diminuito il tiro del rimorchiatore di poppa in modo tale da poter direzionare la prua verso la direzione d'uscita e viene poi angolato a circa 45° a sinistra. Quando la nave è parallela al braccio più a nord della diga viene fermato il rimorchiatore a poppa e quella a prua passa dritto all'80% della potenza. Il rimorchiatore di prua viene portato a 45° a dritta per aiutare l'evoluzione verso il canale dragato e in seguito viene chiamato al tiro anche il rimorchiatore di poppa. Una volta che la nave è entrata nel canale dragato i rimorchiatori vengono fermati e la manovra terminata. |
| F050 [3 min] | FSRU | CON diga paraonde – GIORNO | 270 | 30 | 270 | 1 | 5.5 | 180 | 0.5 | D | - | Piattaforma | 2 | 80 | MANOVRA FALLITA La manovra di partenza inizia con 2 rimorchiatori al cavo (45 m) posizionati a traverso, uno a prua e una a poppa che iniziano a tirare al 50% della loro potenza, per poi passare subito all'80%. Il vento spinge a traverso, in direzione della piattaforma. La nave si appoggia sui parabordi. La manovra termina con la nave che non riesce a scostarsi dall'ormeggio. |
| F060 [25 min] | FSRU | CON diga paraonde – GIORNO | 270 | 30 | 270 | 1.5 | 6 | 180 | 0.5 | D | - | Piattaforma | 4 | 80 | MANOVRA RIUSCITA AL LIMITE La manovra di partenza inizia con 2 rimorchiatori al cavo (45 m) rispettivamente a prua e a poppa e 2 rimorchiatori a tirare sul fianco, nella zona prodiera e poppiera. I rimorchiatori al cavo sono angolati 60° a sinistra. Tutti i rimorchiatori sono lavorano all'80% della loro potenza. La nave comincia a scostarsi dal terminal. Quando la nave è al di fuori dell'area dragata a -17.6 m i rimorchiatori vengono fermati infatti, la nave ha una velocità di circa 3.5kn. All'imbocco del canale dragato vengono scollegati i rimorchiatori. La nave termina la manovra attraverso il canale dragato a circa 5 kn. |

| ID MANOVRA DURATA | NAVE | LAYOUT | CONDIZIONI METEOMARINE | | | | | | | | TIPO MANOVRA | INGOM- BRO | 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] | | | | | | | |
| F061 [19 min] | FSRU | CON diga paraonde – GIORNO | 270 | 30 | 270 | 1.5 | 6 | 180 | 0.5 | D | - | Piattaforma | 5 | 2x80 3x70 | MANOVRA RIUSCITA La manovra di partenza inizia con i 2 rimorchiatori da 80t collegati al cavo, rispettivamente a prua e poppa, e 3 rimorchiatori da 70t sono posizionati sul fianco, 2 a prua e uno a poppa. Tutti i rimorchiatori sono voltati a tirare con 60m di cavo. I rimorchiatori di prua tirano all'80% mentre quelli a prora al 60% della potenza. In seguito, quelli a prora aumentano il tiro al 70%. La nave comincia a scostarsi dal terminal. I rimorchiatori di poppa riducono il tiro fino al 60%. Quando la nave si trova al di fuori dell'area dragata e raggiunge i 2.5 kn tutti i rimorchiatori vengono fermati. La nave si orienta in direzione del canale d'uscita. I tre rimorchi sul fianco vengono liberati. La nave termina la manovra attraverso il canale dragato. | |
| F070 [15 min] | FSRU | CON diga paraonde – GIORNO | 270 | 30 | 270 | 1 | 5.5 | 180 | 0.5 | D | - | Piattaforma | 4 | 80 | AVARIA – TUG – MANOVRA PORTATA A TERMINE La manovra di partenza inizia con 2 rimorchiatori al cavo di prua e di poppa (45 m) e 2 rimorchiatori a tirare sul fianco, nella zona prodiera e poppiera. I rimorchiatori al cavo sono posizionati a traverso. Tutti rimorchiatori iniziano a tirare all'80% della loro potenza per scostare la nave dal terminal. Al minuto 6 è simulata la rottura del cavo del rimorchiatore sul fianco prodiero. I rimorchiatori di poppa portano al minimo il tiro fino a fermarsi. Il rimorchiatore al fianco di poppa viene spostato sul fianco a prua. Oltrepassata l'area dragata a -17.6 m anche il rimorchiatore di poppa comincia a tirare insieme a quello di prua, ormai al 30%, per far evolvere la nave in direzione d'uscita. Viene chiamato a lavoro anche il rimorchiatore al fianco di prua, angolato quasi al dritto di prora. La nave termina la manovra attraverso il canale dragato. | |
| F080 [16 min] | FSRU | CON diga paraonde – GIORNO | 270 | 35 | - | - | - | 0 | 0.5 | D | - | Piattaforma | 4 | 80 | MANOVRA RIUSCITA La manovra di partenza inizia con 2 rimorchiatori al cavo di prua e di poppa e, 2 rimorchiatori a tirare, nella zona prodiera e poppiera del fianco. I rimorchiatori al cavo sono posizionati a traverso. Tutti rimorchiatori iniziano a tirare all'80% della loro potenza per scostare la nave dal terminal. Quando la nave è distanziata dalla piattaforma i rimorchiatori a poppa diminuiscono la propria potenza per poi essere fermati insieme ai rimorchiatori di prua quando la nave è all’incirca parallela al braccio della diga più a Nord. Infine, vengono chiamati a lavoro il rimorchiatore al cavo di prua e il rimorchiatore al tiro sul fianco di poppa per aiutare la nave ad evolvere in direzione del canale dragato d'uscita. La nave termina la manovra attraverso il canale. | |
| F090 [8 min] | FSRU | SENZA diga paraonde – NOTTE | 300 | 25 | 300 | 1.5 | 6 | 180 | 0.5 | D | none | Piattaforma | 2 | 80 | MANOVRA FALLITA La manovra di partenza inizia con 2 rimorchiatori al cavo, uno a poppa e uno a prua che iniziano a lavorare subito per scostare la nave dalla piattaforma. Il vento spinge a traverso, in direzione della piattaforma. La nave si appoggia sui parabordi, prima di poppa e poi di prua. La manovra termina con la nave che non riesce a scostarsi dall'ormeggio | |

Tab. 6-1 Sintesi delle manovre effettuate con la nave FSRU.

| ID MANOVRA DURATA | NAVE | LAYOUT | CONDIZIONI METEOMARINE | | | | | | | | TIPO MANOVRA | INGOM- BRO | 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] | | | | | | | | |
| C010 [36 min] | LNG Carrier | CON diga paraonde – GIORNO | 60 | 25 | 60 | 1.5 | 6 | 180 | 0.5 | A | FSRU | Piattaforma | 4 | 80 | MANOVRA RIUSCITA La manovra inizia con i 2 rimorchiatori da 80t collegati al cavo di prua e poppa e 2 rimorchiatori a spingere sul fianco, rispettivamente a prua e a poppa. Entrando nell'area dragata di manovra, la nave viene assistita dai due rimorchiatori al tiro e dal rimorchiatore prodiero alla spinta per eseguire l'evoluzione. Quando la nave ha la prua parallela al braccio più a Nord della diga i rimorchiatori al cavo vengono posizionati a traverso in direzione della piattaforma e attivati quando la poppa della LNGC è in prossimità della prua della FSRU, in modo da aiutare l'accostamento e contrastare l'azione del vento. A navi parallele i rimorchiatori al cavo si preparano a traverso. In fase di avvicinamento vengono chiamati alla spinta solo i rimorchiatori sul fianco. La manovra si conclude con la LNGC affiancata alla FSRU. | | |
| C011 [25 min] | LNG Carrier | SENZA diga paraonde – GIORNO | 60 | 25 | 60 | 1.5 | 6 | 180 | 0.5 | A | FSRU | Piattaforma | 5 | 2x80 3x70 | MANOVRA RIUSCITA La manovra inizia con i 2 rimorchiatori da 80t collegati al cavo di prua e poppa e 3 rimorchiatori da 70t sul fianco, uno a prua e uno a poppa e l'ultimo al tiro al mascone. La nave arriva nell'area dragata con il vento in poppa e chiama al tiro il rimorchiatore al cavo di poppa per frenarla e in seguito anche i rimorchiatori al cavo di prua e alla spinta di prua per aiutare l'evoluzione. Terminata l'evoluzione con l'allineamento della poppa della nave in direzione del FSRU, il vento a traverso risulta tale per cui la spinta generata spinge la LNGC verso il largo. Per questo, il rimorchiatore al cavo di poppa vien messo a traverso verso la piattaforma e chiamato al lavoro insieme a quelli alla spinta per accostare la LNGC. Anche il secondo rimorchiatore al tiro di prua (70t) viene chiamato al tiro in questa fase. Infine, rimangono attivi solo i rimorchiatori sul fianco che arrivano ad utilizzare fino al 100% della loro potenza. La manovra si conclude con la LNGC affiancata alla FSRU. | | |
| C020 [26 min] | LNG Carrier | SENZA diga paraonde – GIORNO | 315 | 25 | 315 | 1.5 | 6 | 180 | 0.5 | A | FSRU | Piattaforma | 4 | 80 | MANOVRA RIUSCITA La manovra inizia con i 2 rimorchiatori da 80t collegati al cavo (45m) di prua e poppa e 2 rimorchiatori a spingere sul fianco, rispettivamente a prua e a poppa. La nave entra all'interno dell'area di manovra e prepara i rimorchiatori al cavo per aiutare l'evoluzione. I rimorchiatori al cavo cominciano a tirare e in seguito vengono supportati dal rimorchiatore alla spinta di prua. Quando la prua della nave punta verso Nord il rimorchiatore al cavo di prua viene fermato. In seguito, viene fermato anche quello alla spinta e resta attivo solo quello di poppa. Quando la nave ha direzione parallela al FSRU si lascia spingere dal vento, ora quasi a traverso e, mantiene la prua con il rimorchiatore al cavo di prua al minimo della potenza. In avvicinamento al terminal il rimorchio di poppa viene fermato e preparato al traverso fuori. Attivo resta solo il rimorchio al cavo di prua al minimo della potenza. In fase di avvicinamento vengono chiamati i due rimorchiatori al cavo, posizionati all'esterno, al 30% della loro potenza, per rallentare la nave in fase d'accosto, che in questo caso è spinta dall'azione del vento. | | |

| ID MANOVRA DURATA | NAVE | LAYOUT | CONDIZIONI METEOMARINE | | | | | | | | TIPO MANOVRA | INGOM- BRO | 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] | | | | | | | |
| C021 [18 min] | LNG Carrier | SENZA diga paraonde – GIORNO | 315 | 25 | 315 | 1.5 | 6 | 180 | 0.5 | A | FSRU | Piattaforma | 5 | 2x80 3x70 | MANOVRA RIUSCITA Ripetizione della manovra (C020) ma con una flotta dei rimorchiatori diversa. La manovra inizia con i 2 rimorchiatori da 80t collegati al cavo di prua e di poppa e tre rimorchiatori da 70t posizionati sul fianco, uno a prua, uno al centro e uno poppa. Quando la nave entra nell' area di manovra i rimorchiatori al cavo vengono preparati e messi a lavoro per aiutare la nave durante l'evoluzione. Terminata l'evoluzione con l'allineamento della poppa della nave in direzione del FSRU, il vento risulta a traverso tale per cui la spinta generata porta la LNGC verso la piattaforma, e di conseguenza i rimorchiatori sul fianco sono posizionati al tiro pronti a mantenere la nave. In fase di affiancamento la nave sfrutta l'azione del vento. | |
| C030 [14 min] | LNG Carrier | SENZA diga paraonde – NOTTE | 315 | 25 | 315 | 1.5 | 6 | 180 | 0.5 | D | FSRU | Piattaforma | 4 | 4x80 | MANOVRA RIUSCITA La manovra di partenza comincia con 4 rimorchiatori, 2 al fianco di sinistra a tirare e due al cavo, rispettivamente uno a poppa e uno a prua. Tutti i rimorchiatori tirano per contrastare il vento e scostare la nave dal FSRU. Quando la nave è distanziata rimangono al lavoro solo i due rimorchiatori a prora, uno al cavo e uno al fianco, per aiutare ad orientare la prua della LNGC in direzione d'uscita. Superato l'ingombro della FSRU anche i rimorchiatori a prua vengono fermati. La manovra termina con la nave libera di navigare nel canale dragato d'uscita. | |
| C040 [22 min] | LNG Carrier | SENZA diga paraonde – GIORNO | 60 | 30 | 60 | 1 | 5.5 | 180 | 0.5 | A | FSRU | Piattaforma | 4 | 4x80 | MANOVRA RIUSCITA La nave inizia la manovra collegando 2 rimorchiatori al cavo (45m) di prua e poppa e due rimorchiatori a spingere sul fianco di sinistra. In ingresso all'area di manovra il rimorchiatore al cavo di poppa comincia a tirare seguito poi da quello di prora per assistere la nave nell'evoluzione. Il rimorchiatore di prua tira fino all'80% della sua potenza. In aiuto viene chiamato anche il rimorchiatore alla spinta di prua. Il rimorchiatore di poppa viene angolato a 60 gradi a dritta in direzione del terminal. Viene azionato anche l'altro rimorchiatore alla spinta di poppa. In avvicinamento al terminal i rimorchiatori al cavo vengono fermati. In seguito, rimane all'attivo solo il rimorchiatore alla spinta di prua. Nelle fasi finali di accosto vengono chiamati al lavoro entrambi i rimorchiatori alla spinta per affinare la manovra. | |

Tab. 6-2 Sintesi delle manovre effettuate con la nave LNG Carrier.


6.2 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 in particolare 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 rapporto è finalizzato alla presentazione dei risultati delle simulazioni di manovra Real Time svolte al largo di Ravenna da parte di CETENA S.p.A. per conto di Techfem S.p.A., relativamente al progetto SNAM di riconversione della piattaforma PETRA in Terminal LNG.

I test al simulatore di manovra Real Time sono stati svolti nel corso di 2 giornate di simulazione (dal **5 al 6 Settembre 2023**), in presenza dell'intero gruppo di lavoro, avvalendosi del pilotaggio di piloti professionisti.

Il principale obiettivo di questo studio al simulatore eseguito da CETENA è la valutazione della manovrabilità da parte di una unità FSRU e una LNG Carrier rifornitrice in relazione al progetto SNAM di riconversione della piattaforma PETRA al largo di Ravenna in terminal LNG, studiando sia l'adeguatezza delle aree dragate, sia l'evoluzione nelle fasi finali di accosto delle manovre di arrivo e il distacco della nave in partenza.

Il presente studio è stato effettuato considerando due diverse tipologie navali. In particolare, è stata considerata un'unità di tipo FSRU (di dimensioni pari a 292.6 m x 43.4 m x 12.5 m) e una di tipo LNG Carrier (di dimensioni pari a 300 m x 50 m x 12.5 m).

Nello specifico, la verifica richiesta dal Cliente ha riguardato la fattibilità della manovra da parte delle unità descritte nelle condizioni meteo occorrenti nello specchio acqueo antistante il Porto di Ravenna, valutando la strategia e l'impiego dei rimorchiatori ritenuti necessari allo svolgimento delle manovre in sicurezza, comparando le due diverse flotte oggetto dell'analisi.

Per quanto riguarda le condizioni meteomarine, nello studio è stato considerato vento proveniente da tutti e quattro i quadranti con direzioni da 60°N (Grecale), 80°N (Levante), 240°N (Libeccio), 270°N (Ponente) e 315° (Maestrale), di intensità variabile tra i 25 e i 35 nodi di velocità. L'agitazione ondosa è stata considerata compresa tra 1 m e 2 m con direzione di provenienza coerente alla direzione del vento considerato. In ogni scenario meteo marino considerato è stata considerata la presenza di corrente associata di intensità e direzione coerente con l'esperienza dei Piloti del Porto di Ravenna. Le condizioni più severe studiate relativamente al III e IV quadrante (vento 35kn, onda 1.5m) sono statisticamente associate ad un tempo di ritorno di 100 anni.

Inoltre, non è stato considerato l'effetto di protezione e smorzamento del moto ondoso da parte delle strutture fisse di protezione (diga paraonde) anche quando queste fossero fisicamente presenti all'interno dello scenario, svolgendo le simulazioni di manovra senza considerare l'effetto dovuto alla presenza delle strutture stesse. Tale ipotesi ha permesso di indagare contemporaneamente all'interno della stessa simulazione situazioni di massimo ingombro geometrico (relativo alla presenza della diga) e massima sollecitazione dovuta agli agenti esterni (che si genera in assenza della diga), risultando peggiorativa rispetto alla condizione reale.

Dall'esito delle simulazioni di manovra svolte con l'unità **FSRU** si osserva che:

- *la manovra di partenza* dalla piattaforma PETRA, svolta con venti provenienti dal I e II quadrante; con intensità fino a 35kn, viene eseguita positivamente al simulatore con l'ausilio di due rimorchiatori in assistenza (2 x 80t), grazie all'azione del vento che scosta naturalmente la nave dalla piattaforma.
- *la manovra di partenza* dalla piattaforma PETRA, svolta con venti provenienti dal III e IV quadrante; con intensità fino a 35kn, viene eseguita positivamente al simulatore con l'ausilio della flotta completa dei rimorchiatori (4 x 80t oppure 3 x 70t + 2 x 80t) in assistenza. Risulta tuttavia necessario un utilizzo intenso dei rimorchiatori per contrastare vento e corrente nelle condizioni più severe.
- La nave considerata era priva di bow thruster.

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

- *la manovra di arrivo* nei pressi della piattaforma PETRA viene eseguita positivamente al simulatore anche in condizioni di vento severe (fino a 30kn) l'ausilio della flotta completa dei rimorchiatori (4 x 80t oppure 3 x 70t + 2 x 80t) in assistenza;
- *la manovra di partenza* dalla piattaforma PETRA viene eseguita positivamente al simulatore anche in condizioni di vento severe (fino a 25kn) considerando l'ausilio di quattro rimorchiatori in assistenza (4x 80t);
- La nave considerata era priva di bow thruster.

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. Nel grafico seguente si può osservare che, durante le sessioni di simulazione, è stato considerato il vento di:

- ENE per intensità da 25 kn e 30 kn, per un totale di n° 3 manovre;
- E per intensità di 35 kn, per un totale di n° 3 manovre;
- WSW per intensità di 25 kn, per un totale di n° 1 manovra;
- W per intensità da 30 kn e 35 kn, per un totale di n° 5 manovre;
- NW per intensità di 25 kn, per un totale di n° 4 manovre;

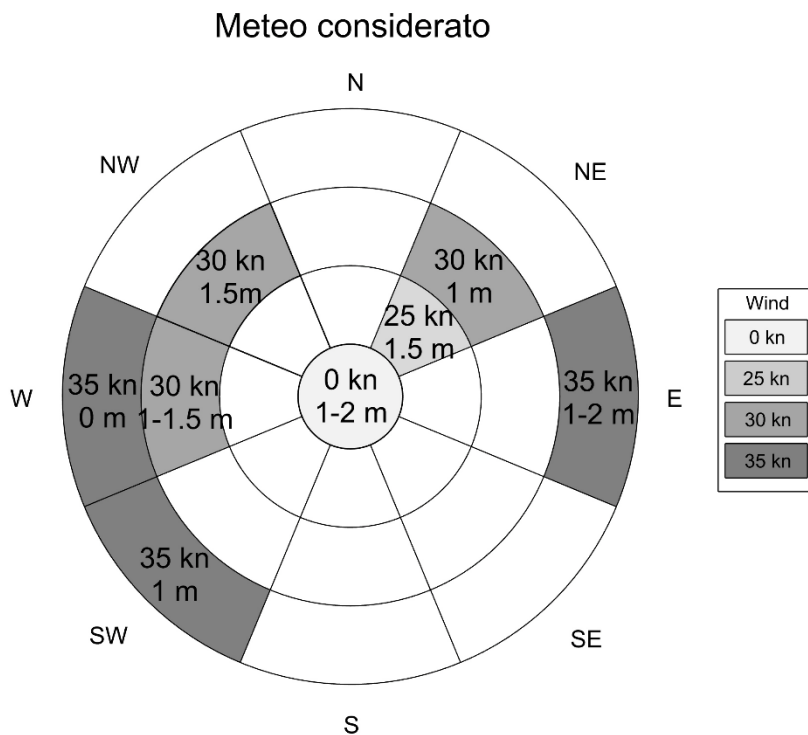


Fig. 7-1 - Venti ed intensità considerati durante le manovre

Manovre vs meteo

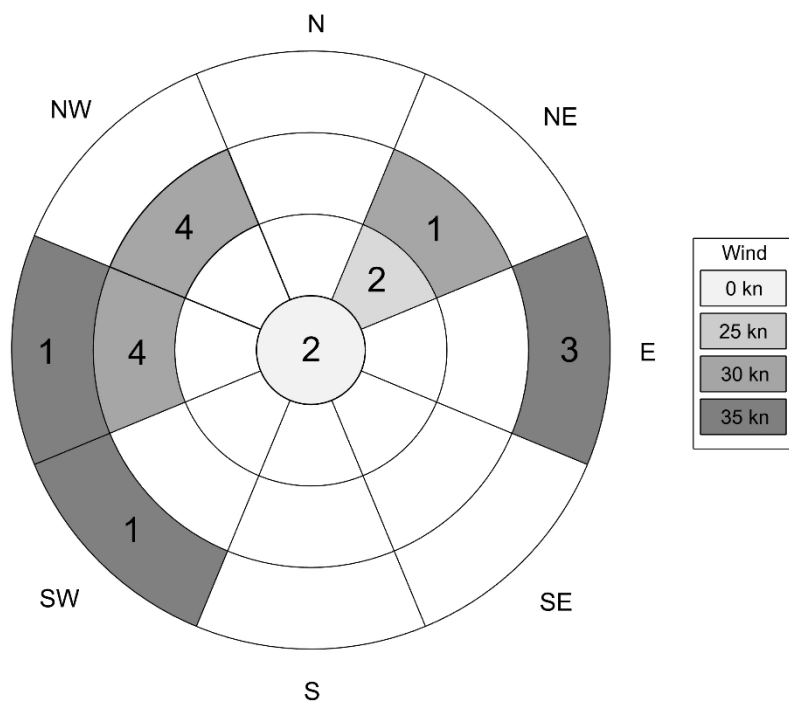


Fig. 7-2 - Numero di manovre associate a direzione e intensità di vento

7.2 Riassunto del lavoro – Rimorchiatori

Durante l'esecuzione dello studio, sono state effettuate simulazioni considerando tre flotte di rimorchiatori composte da unità di diversa potenza, nello specifico:

- n°2 rimorchiatori da 80t di Bollard Pull;
- n°3 rimorchiatori da 70t di Bollard Pull e n°2 rimorchiatori da 80t di Bollard Pull;
- n°4 rimorchiatori da 80t di Bollard Pull.

L'esito delle manovre svolte con le due unità navali suggerisce che:

- n°2 rimorchiatori da 80t di Bollard Pull consentono la partenza delle navi con venti severi (superiori ai 30kn) provenienti dal I e II quadrante in quanto risultano sufficienti per rallentare lo scarroccio della nave mentre si allontana naturalmente dalla piattaforma spinta dal vento. La stessa flotta di rimorchiatori invece riesce a vincere la spinta del vento e scostare la nave con venti fino a 25kn provenienti dal III e IV quadrante;
- n°4 rimorchiatori da 80t di Bollard Pull consentono la partenza delle navi in condizioni meteo severe (fino a 35kn, in assenza di onda). Tuttavia, in condizioni di onda formata l'intensità di vento per il quale i rimorchiatori riescono a scostare efficacemente la nave si riduce, questo a causa della sollecitazione aggiuntiva del moto ondoso e alla riduzione di efficacia dei rimorchiatori stessi.
- n°2 rimorchiatori da 80t di Bollard Pull e n°3 rimorchiatori da 70t di Bollard Pull garantiscono una potenza disponibile superiore al caso precedente, garantendo conseguentemente un margine di potenza residua superiore. Per tale configurazione è necessario valutare più approfonditamente gli eventuali effetti di interazione tra i cinque mezzi e l'effettiva capacità di operare contemporaneamente.
- Durante le simulazioni è stato considerata una riduzione di circa il 20% del Bollard Pull disponibile in presenza di moto ondoso e rimorchiatori voltati a tirare.

8 RIFERIMENTI

Rif. 1. Disegno del layout di progetto

“DIS-AMD-B-35496 - Aree di Dragaggio (LMM).pdf”

Fonte: Cliente

Rif. 2. RTC 14708 Rev.02 – Simulazioni di manovra FSRU Ravenna

“RTC_14708_Rev02.pdf”

Fonte: CETENA

APPENDICI

APPENDICE A

TRACCIATI DELLE MANOVRE

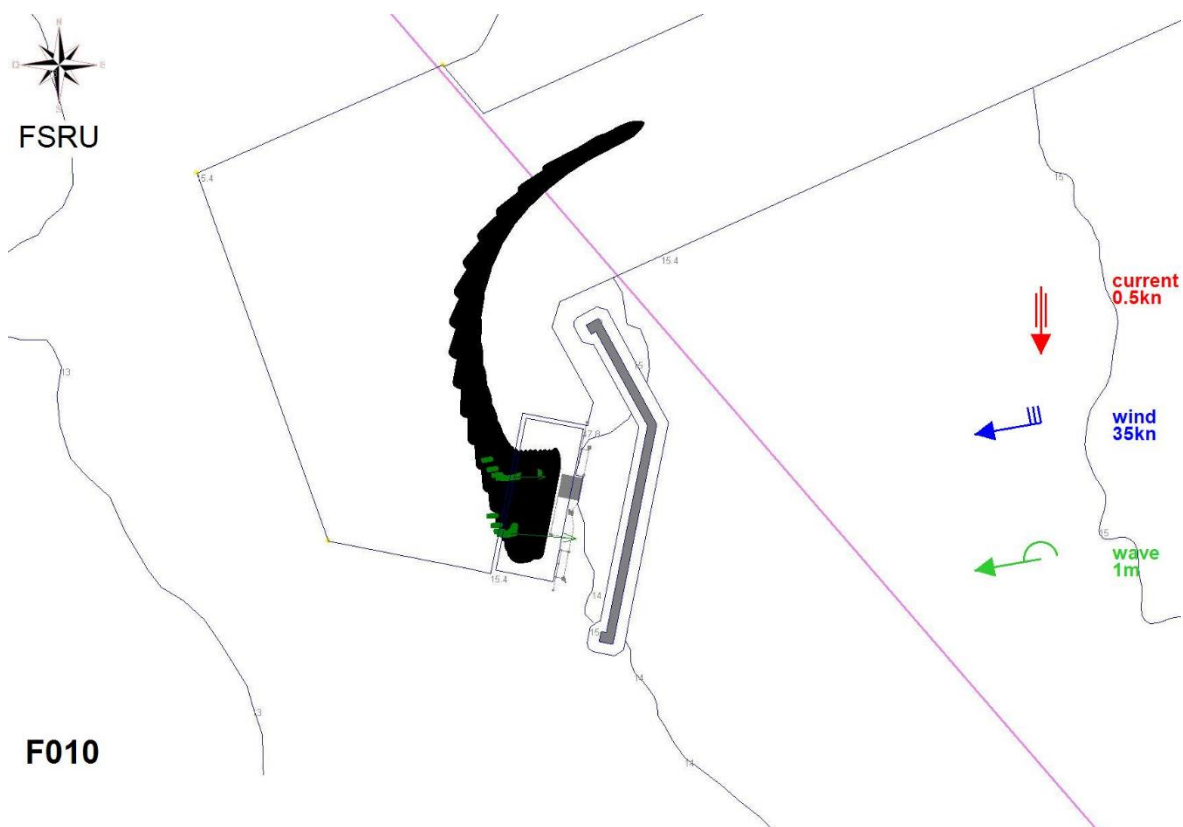


Fig. A - 1 – Manovra F010 – FSRU - Partenza - **MANOVRA RIUSCITA**
Levante 35 nodi.



Fig. A - 2 – Manovra F011 – FSRU - Partenza – **TEST**
Levante 35 nodi.



Fig. A - 3 – Manovra F020 – FSRU - Partenza - **MANOVRA RIUSCITA**
Levante 35 nodi.

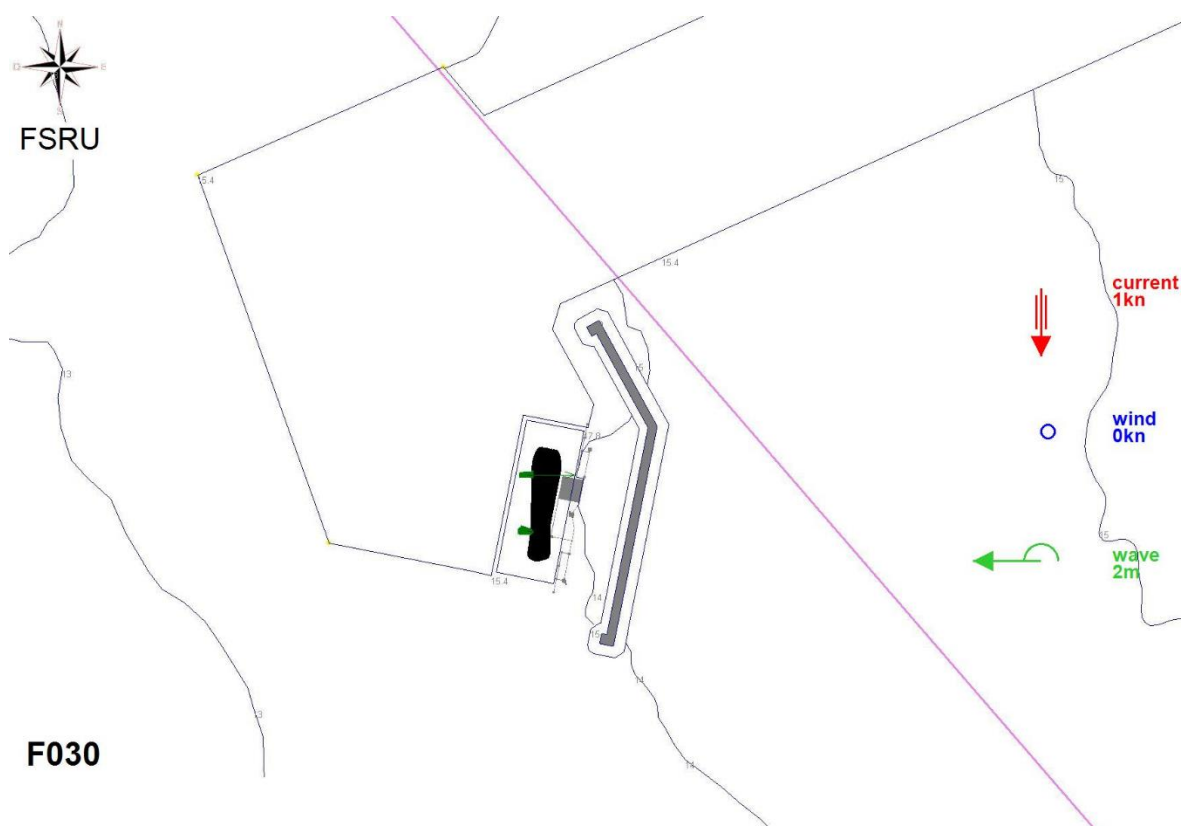


Fig. A - 4 – Manovra F030 – FSRU - Partenza – **TEST**
Calma.

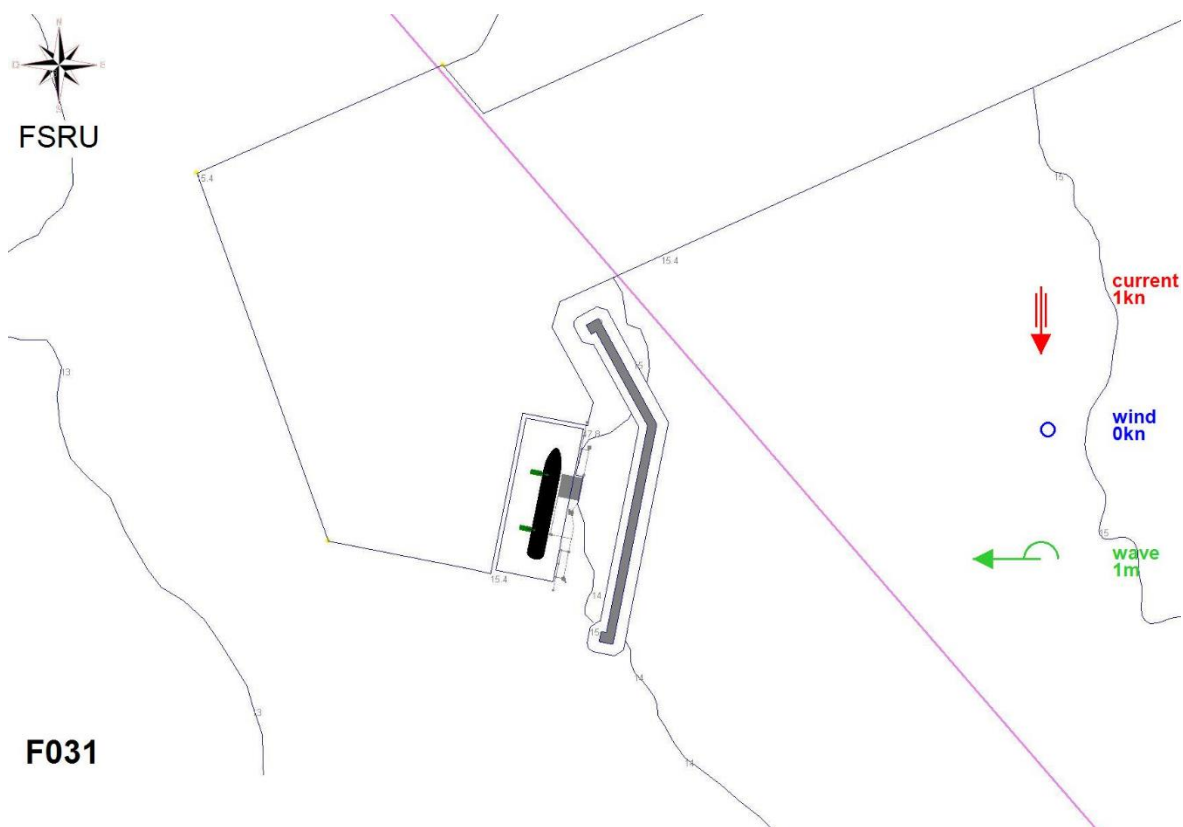


Fig. A - 5 – Manovra F031 – FSRU - Partenza – **TEST**
Calma.



Fig. A - 6 – Manovra F040 – FSRU - Partenza - **MANOVRA RIUSCITA**
Libeccio 25 nodi.

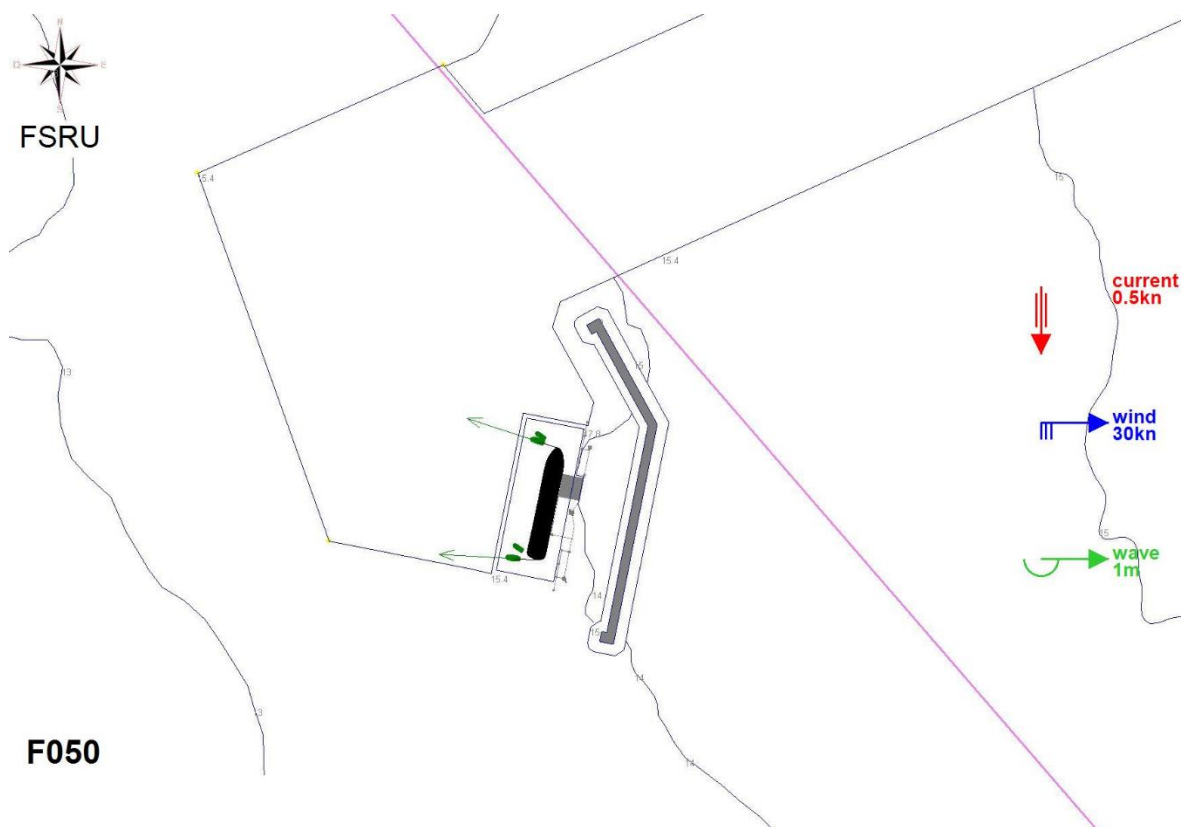


Fig. A - 7 – Manovra F050 – FSRU - Partenza - **MANOVRA FALLITA**

Ponente 30 nodi.

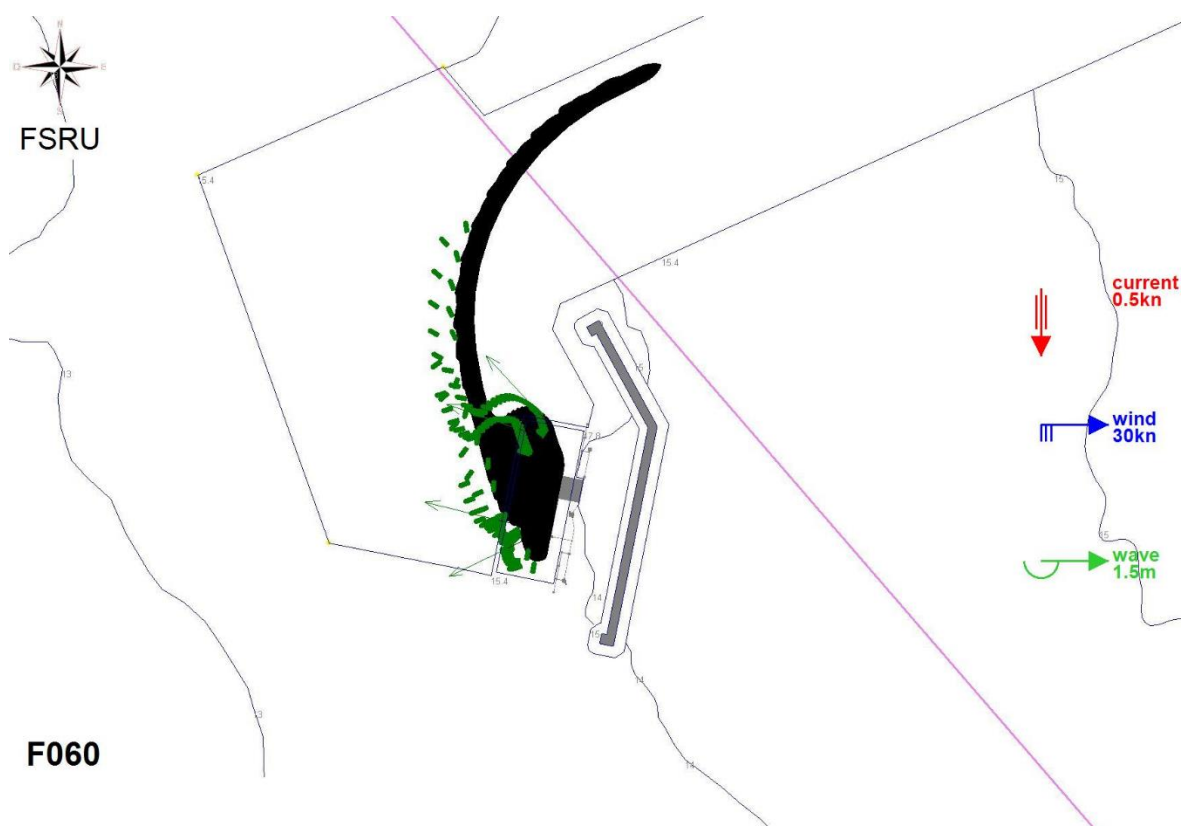


Fig. A - 8 – Manovra F060 – FSRU - Partenza - **MANOVRA RIUSCITA AL LIMITE**

Ponente 30 nodi.

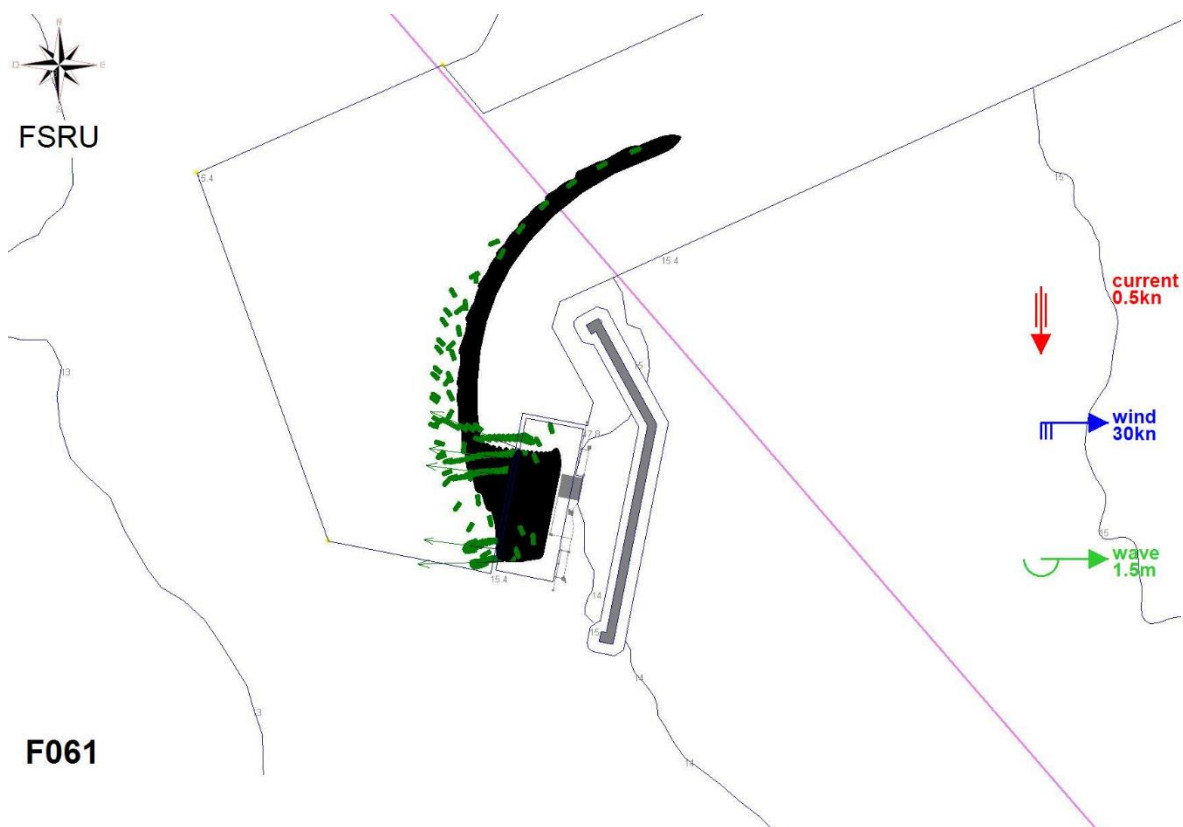


Fig. A - 9 – Manovra F061 – FSRU - Partenza - **MANOVRA RIUSCITA**
Ponente 30 nodi.



Fig. A - 10 – Manovra F070 – FSRU - Partenza - **MANOVRA RIUSCITA**
Ponente 30 nodi.



Fig. A - 11 – Manovra F080 – FSRU - Partenza - **MANOVRA RIUSCITA**
Ponente 35 nodi.

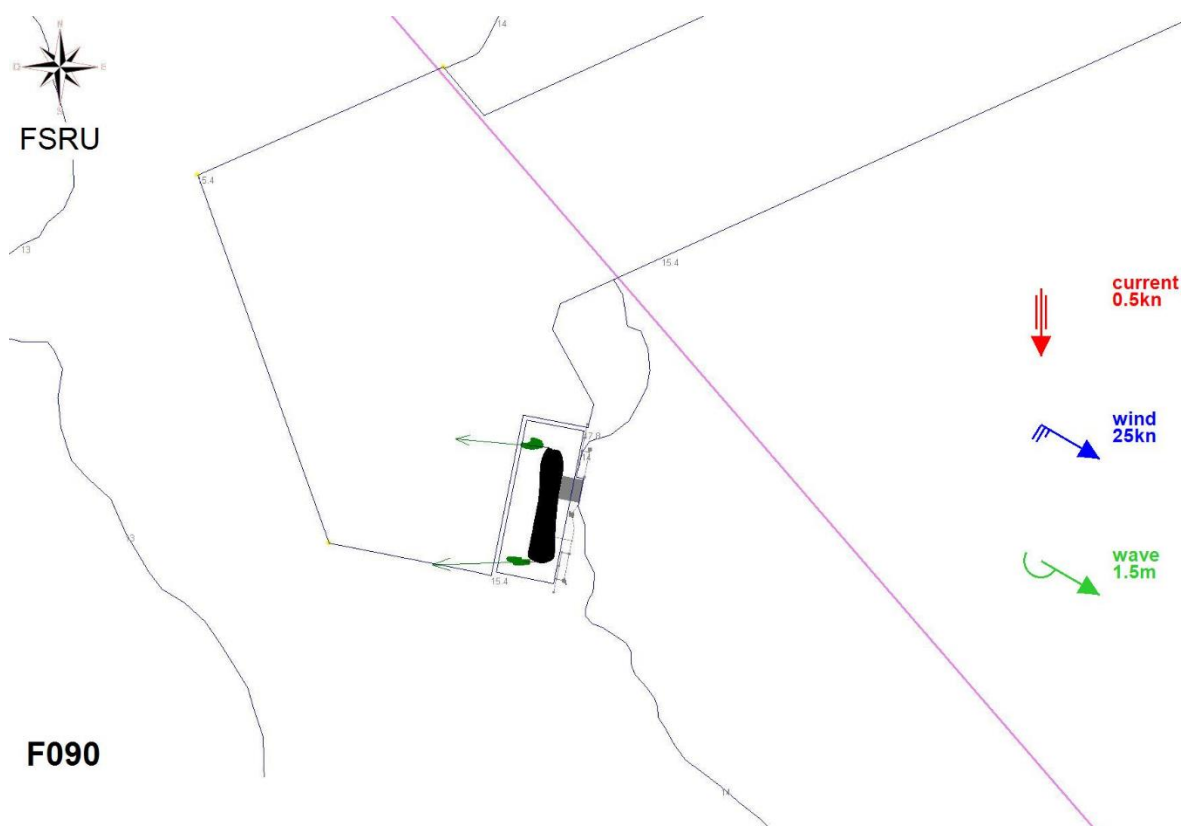


Fig. A - 12 – Manovra F090 – FSRU - Partenza - **MANOVRA FALLITA**
Maestrale 25 nodi.



Fig. A - 13 – Manovra C010 – LNGC - Arrivo - **MANOVRA RIUSCITA**
Grecale 25 nodi.

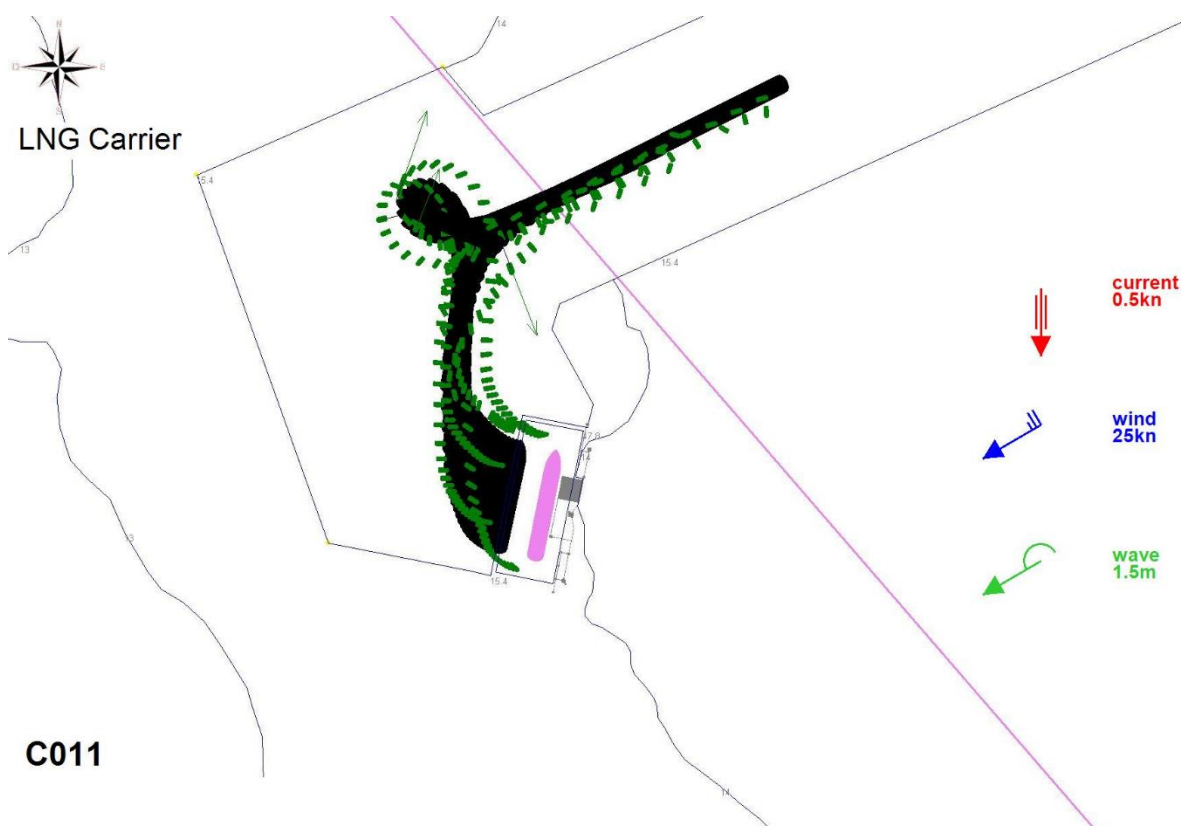


Fig. A - 14 – Manovra C011 – LNGC - Arrivo - **MANOVRA RIUSCITA**
Grecale 25 nodi.



Fig. A - 15 – Manovra C020 – LNGC - Arrivo - **MANOVRA RIUSCITA**
Maestrale 25 nodi.



Fig. A - 16 – Manovra C021 – LNGC - Arrivo - **MANOVRA RIUSCITA**
Maestrale 25 nodi.



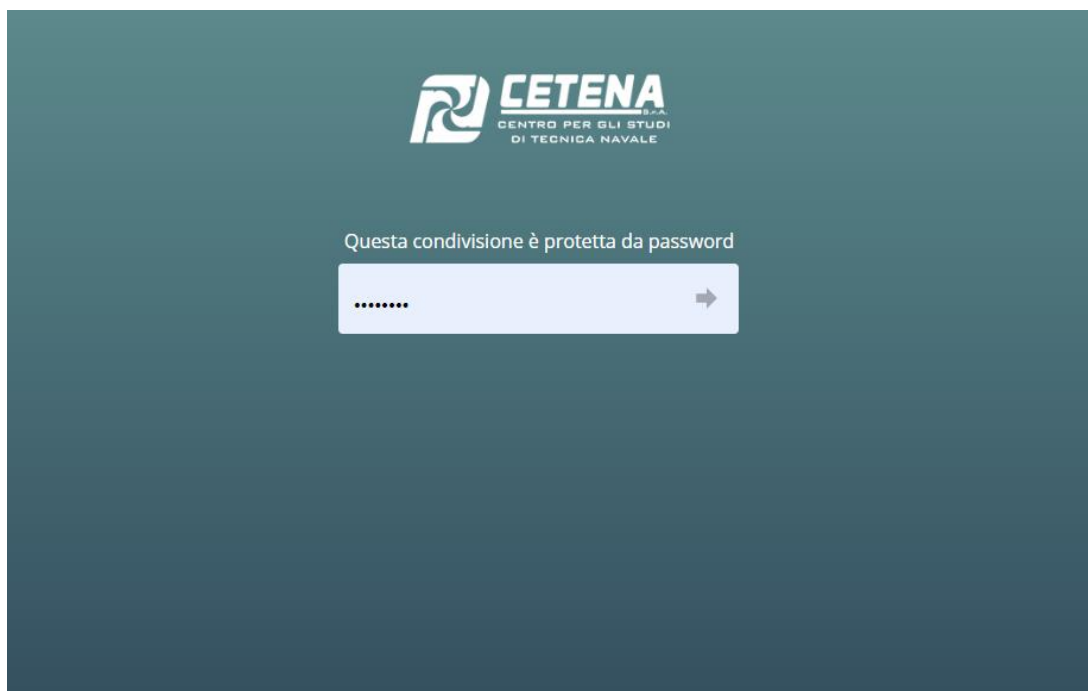
Fig. A - 17 – Manovra C030 – LNGC - Partenza - **MANOVRA RIUSCITA**
Maestrale 25 nodi.



Fig. A - 18 – Manovra C040 – LNGC - Arrivo - **MANOVRA RIUSCITA**
Grecale 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 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.