

Titolo / Title

Report n.

Rev.

Pagine /
SheetsConsulenza ingegneristica eventi MOBY
PRINCE

14698

00

41 / 73



6.5.1 Validazione al moto rettilineo

Si tratta del primo passo utile alla validazione del comportamento manovriero della nave, il controllo di focalizza sulla verifica di coerenza su alcuni valori puntuali di velocità nave.

Qui di seguito vi sono due punti in cui è stata verificata la coerenza dei dati ottenuti al simulatore, nello specifico, è stato verificato dando esito positivo che:

- velocità raggiunta dal modello di MOBY PRINCE
- spinta delle eliche (prodotta da passo e numero di giri)
- potenza misurata all'asse

fossero tra loro coerenti.

Facendo riferimento dalla Fig. 28, qui di seguito vi sono i due punti di controllo messi a grafico.

Punto di funzionamento "verde"

- Handle = 4.7
- Vessel speed = 18 kn
- Shaft speed = 203 rpm
- Propeller pitch = 24.8°
- Shaft power = 2632 kw

Punto di funzionamento "rosso"

- Handle = 10
- Vessel speed = 19.8 kn
- Shaft speed = 217 rpm
- Propeller pitch = 26°
- Shaft power = 3493 kw

Pagine /
Sheets

42 / 73

Report n.

14698

Rev.

00

Titolo / Title

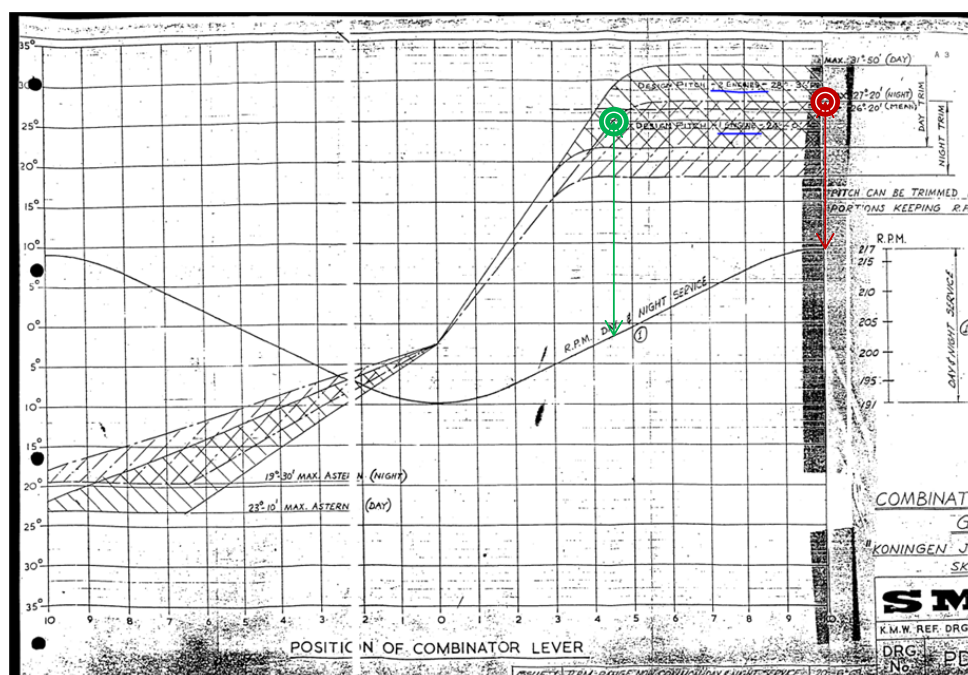
Consulenza ingegneristica eventi MOBY
PRINCE

Fig. 28 – Validazione al moto rettilineo

Titolo / Title

Report n.

Rev.

Pagine /
SheetsConsulenza ingegneristica eventi MOBY
PRINCE

14698

00

43 / 73



6.5.2 Validazione al moto in accostata

La validazione pertinente al moto in accostata è stata eseguita prendendo a riferimento le misure che tradizionalmente vengono prese durante per prove a mare per il cerchio IMO (Fig. 29).

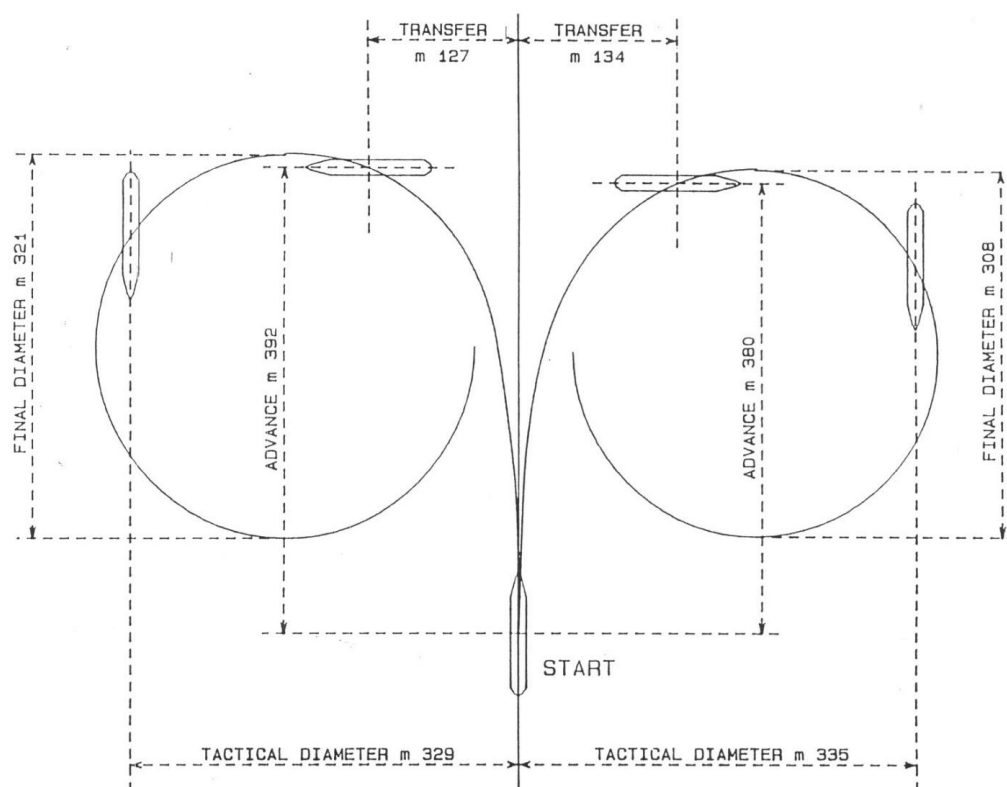


Fig. 29 – Misure cerchio IMO

Vista l'esperienza CETENA in ambito di manovrabilità della nave, è stato possibile confrontare i risultati ottenuti dal modello di manovra in fase di validazione con altri modelli matematici di calcolo impiegati per la progettazione navale.

Per la validazione del modello di manovrabilità in accostata sono stati scelti tre differenti cerchi eseguiti alla stessa velocità ma con diversi angoli di timone:

- speed 20 kn e 5° di timone
- speed 20 kn e 20° di timone
- speed 20 kn e 35° di timone



Pagine / Sheets	Report n.	Rev.	Titolo / Title
44 / 73	14698	00	Consulenza ingegneristica eventi MOBY PRINCE

La validazione del modello di manovra (indicato nei grafici con nome SAND) è stata eseguita confrontando le seguenti grandezze:

- avanzo
- trasferimento
- diametro tattico
- velocità finale
- velocità finale di avanzo (u)
- velocità finale di trasferimento (v)
- angolo di deriva (beta)
- rate of turn

ottenute con i seguenti codici di calcolo:

- modello strip theory per navi militari (STRIP THEORY NAVAL)
- modello strip theory per navi cruise (STRIP THEORY CRUISE)
- modello di calcolo per navi general purpose (SIMSUP)

La validazione del modello SAND per MOBY PRINCE è stata ottenuta per confronto con i risultati ottenuti dagli altri modelli di calcolo, quale conclusione di un processo iterativo di “taratura fine” dei coefficienti idrodinamici impiegati nelle equazioni differenziali del moto.

Nei grafici che seguono sono messe a confronto le grandezze ottenute dai differenti modelli di calcolo.

Titolo / Title

Report n.

Rev.

Pagine /
SheetsConsulenza ingegneristica eventi MOBY
PRINCE

14698

00

45 / 73

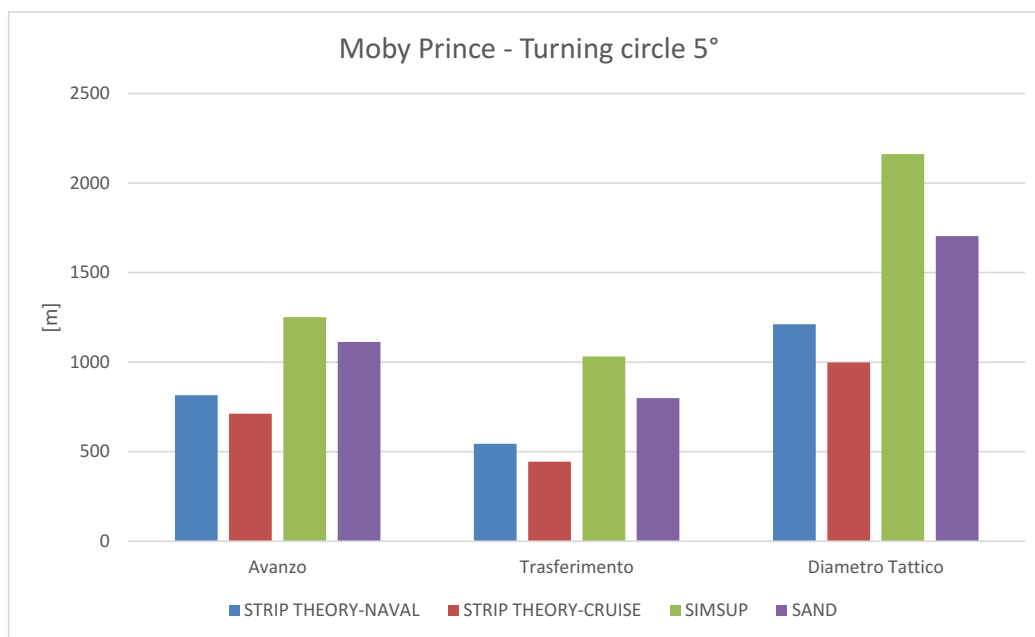


Fig. 30 – Turning circle, rudder 5°

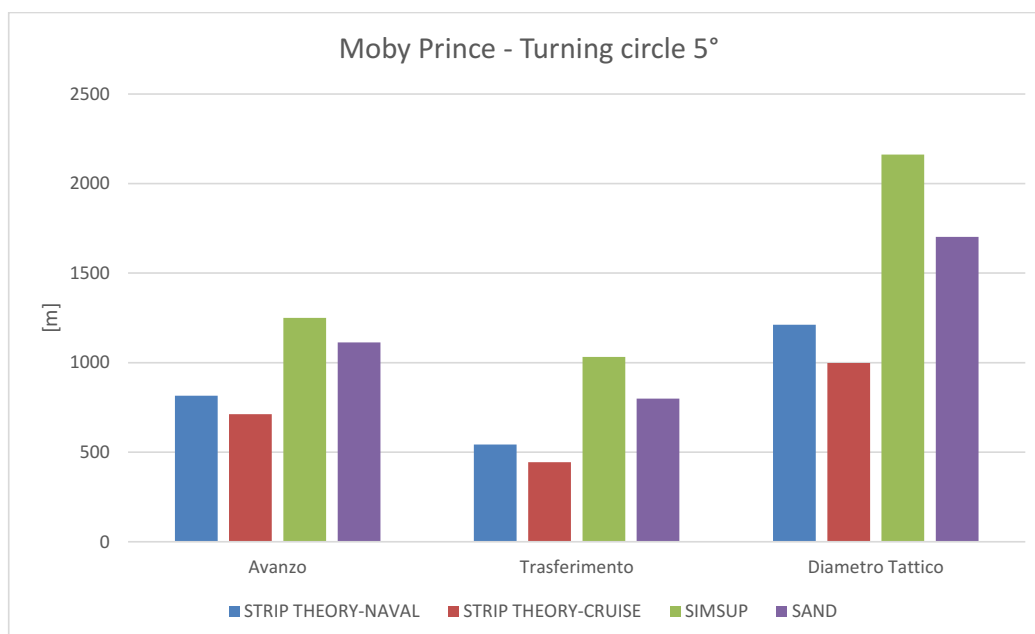


Fig. 31 – Turning circle, rudder 5°



Pagine /
Sheets

46 / 73

Report n.

14698

Rev.

00

Titolo / Title

Consulenza ingegneristica eventi MOBY PRINCE

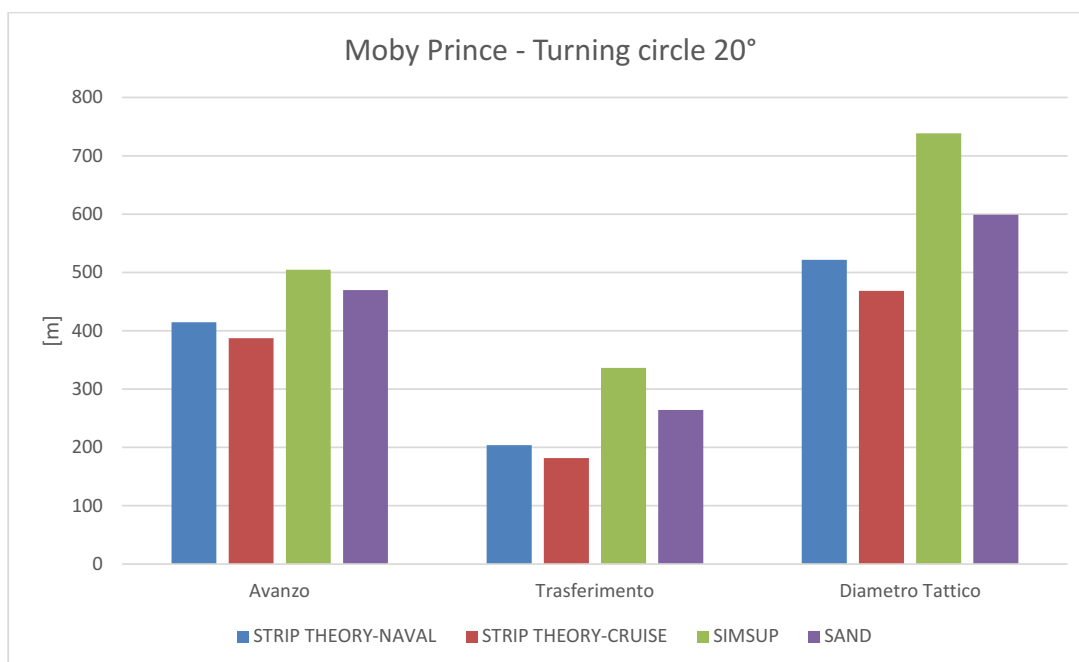


Fig. 32 – Turning circle, rudder 20°

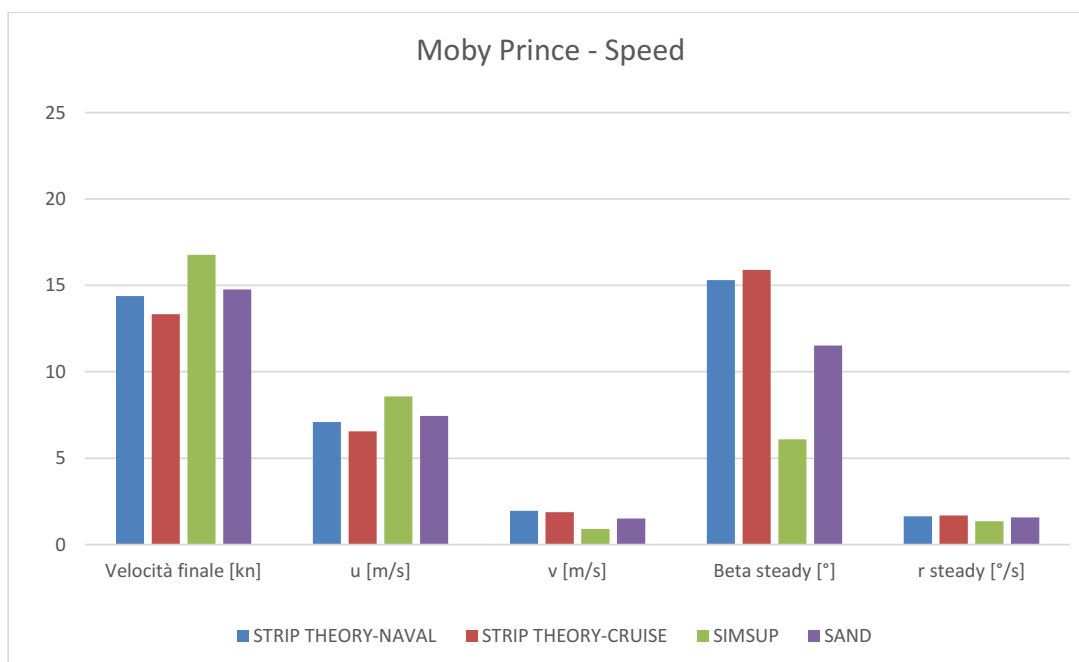


Fig. 33 – Turning circle, rudder 20°

Titolo / Title

Report n.

Rev.

Pagine /
Sheets

Consulenza ingegneristica eventi MOBY
PRINCE

14698

00

47 / 73

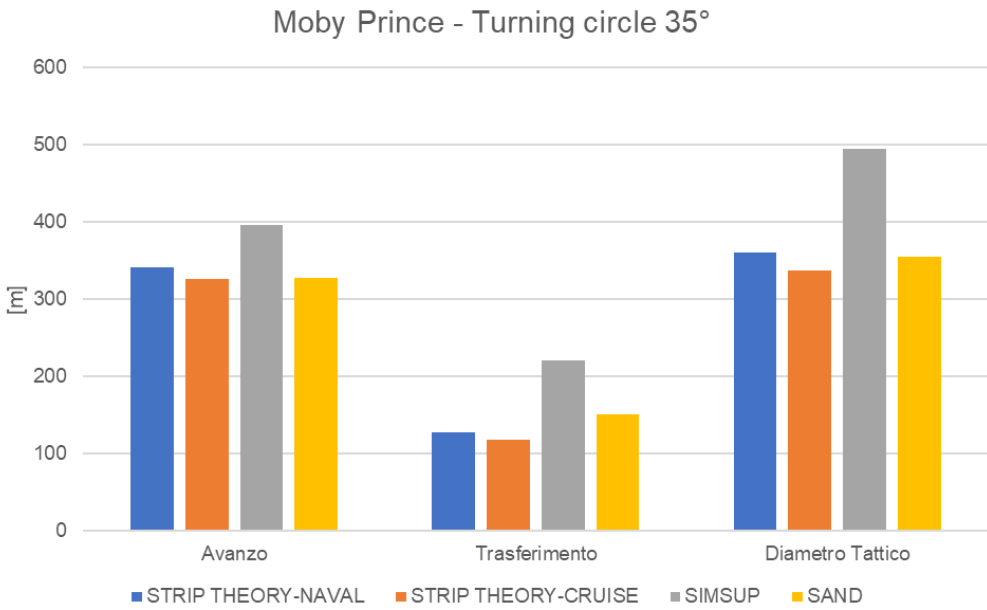


Fig. 34 – Turning circle, rudder 35°

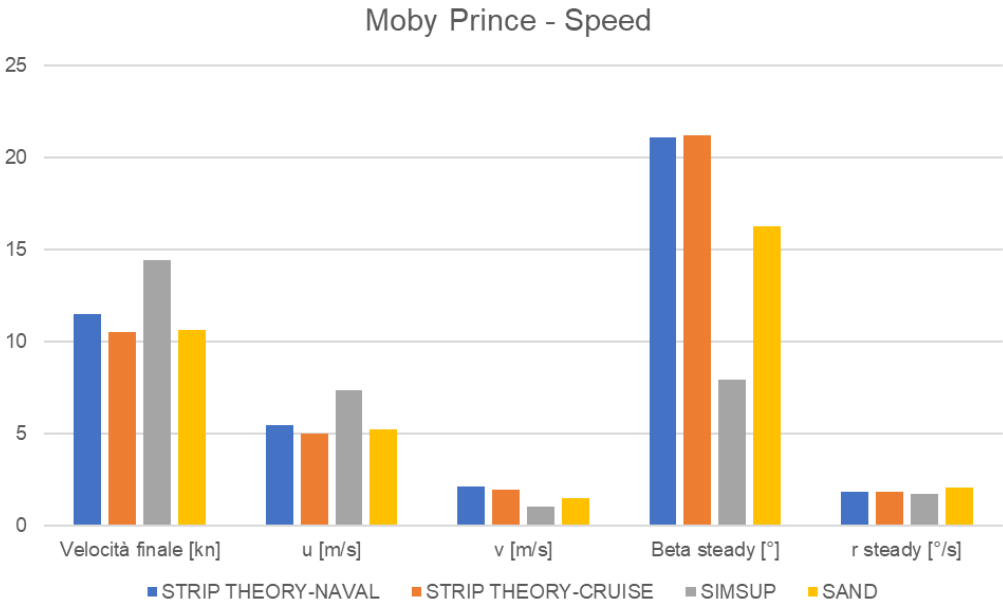


Fig. 35 – Turning circle, rudder 35°



Pagine / Sheets	Report n.	Rev.	Titolo / Title
48 / 73	14698	00	Consulenza ingegneristica eventi MOBY PRINCE

7 Simulazioni con Indice di Performance

Al fine di valutare le possibili interferenze tra le due unità in oggetto di studio, è stato applicato un metodo di indagine multi scenario.

Sono state eseguite un primo insieme di manovre Real-Time utili a registrare le tracce di transito in condizioni indisturbate, tali tracciati sono stati in seguito elaborati e riformulati dal software di simulazione CETENA, al fine di intervenire sulla manovra con azioni di modifica all'angolo del timone.

Ad ogni istante della manovra simulata per MOBY PRINCE, sono stati generati differenti scenari di perturbazione (brevetto CETENA N. 0001427579), l'esito di ogni scenario è stato in seguito analizzato al fine di rilevare le possibili interferenze tra le navi considerate.

In Fig. 36 vi è una rappresentazione pertinente all'esito di una manovra a seguito dell'attivazione di una perturbazione. E' da sottolineare che il percorso compiuto dal mezzo navale a seguito della modifica all'angolo del timone, non viene in alcun modo contrastato da interventi volti alla mitigazione del rischio (nessuna operazione eseguita volta a ripristinare l'intervento al timone).

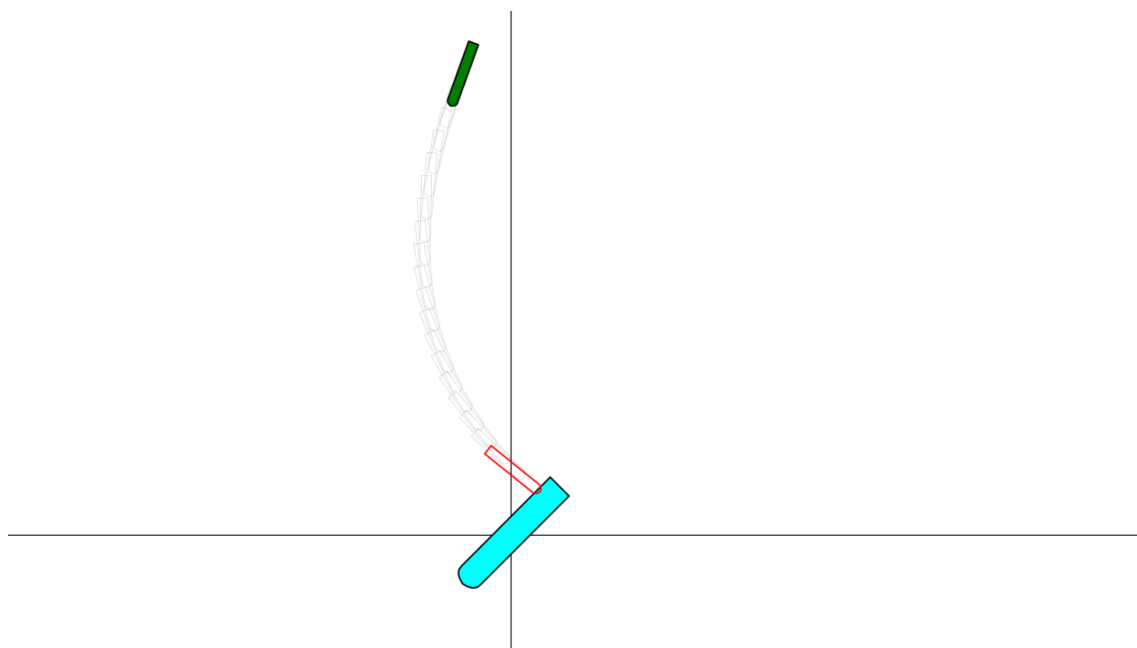


Fig. 36 – Tracciato pertinente all'esito di una perturbazione

Titolo / Title

Report n.

Rev.

Pagine /
SheetsConsulenza ingegneristica eventi MOBY
PRINCE

14698

00

49 / 73



7.1 Manovre Real Time

Al fine di comporre un adeguato spettro di investigazione, sono state registrate 5 rotte per MOBY PRINCE (190°, 195°, 200°, 205°, 210°) a diverse distanze di transito (11 distanze con 200m di spaziatura) da AGIP ABRUZZO.

In

Fig. 37 vi è la rappresentazione di una delle 5 rotte di transito per MOBY PRINCE (silhouette di colore verde), ripetuta per 11 differenti distanze di transito (200 di spaziatura).

In aggiunta allo scenario di transito per MOBY PRINCE, sono stati considerati 7 differenti orientamenti per AGIP ABRUZZO (180°, 195°, 210°, 225°, 240°, 255°, 270°), rappresentati con silhouette di colore azzurro al centro degli assi di

Fig. 37.

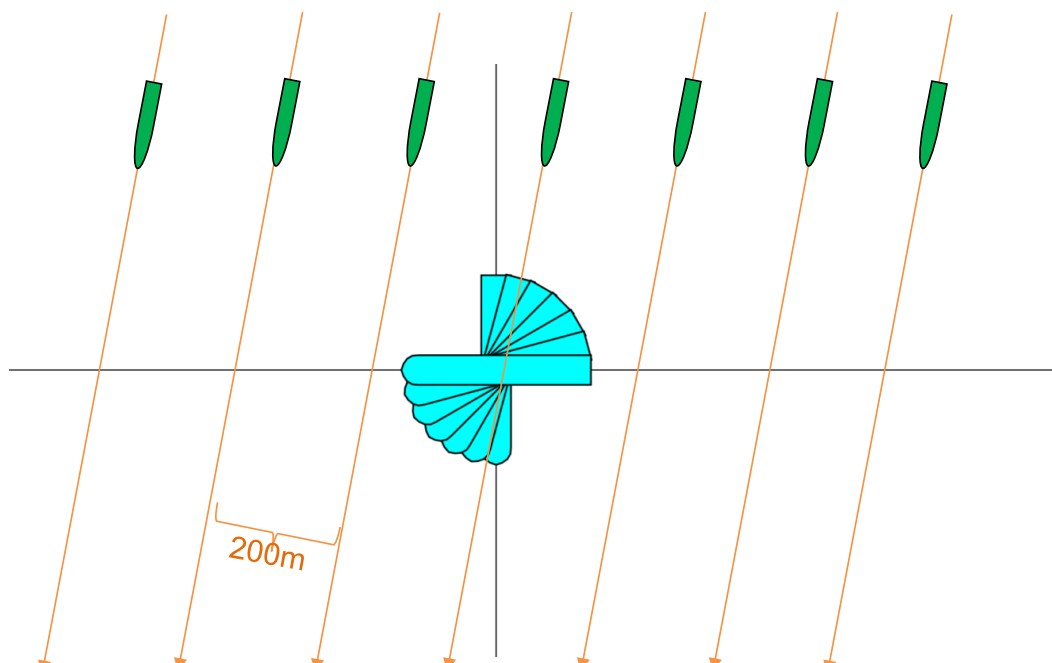


Fig. 37 – Una delle 5 rotte di transito per MOBY PRINCE



Pagine / Sheets	Report n.	Rev.	Titolo / Title
50 / 73	14698	00	Consulenza ingegneristica eventi MOBY PRINCE

Riassumendo, lo scenario registrato su cui intervenire con la modifica dell'angolo del timone risulta:

Meteo

- Vento debole 2/3 nodi proveniente da 160°
- Mare calmo
- Corrente assente

MOBY PRINCE

- Speed 18kn
- Rotte considerate 190°, 195°, 200°, 205°, 210°
- Rotte di transito a dritta e sinistra di Agip Abruzzo

AGIP ABRUZZO

- Speed 0kn
- Heading 180°, 195°, 210°, 225°, 240°, 255°, 270°

Pertanto, si hanno:

- 7 orientamenti per AGIP ABRUZZO
- 5 rotte per MOBY PRINCE
- 11 distanze di transito (200m di spaziatura)

Titolo / Title

Report n.

Rev.

Pagine /
SheetsConsulenza ingegneristica eventi MOBY
PRINCE

14698

00

51 / 73



7.2 Attivazione degli interventi al timone

Per ognuna delle manovre registrate Real Time sono state simulate 14 diverse perturbazioni all'angolo del timone:

- Serie timoni, la nave prosegue il suo moto con timoni ruotati di un angolo imposto:
 - Prosegue con Timoni Bloccati Dritta 5
 - Prosegue con Timoni Bloccati Dritta 10°
 - Prosegue con Timoni Bloccati Dritta 15°
 - Prosegue con Timoni Bloccati Dritta 20°
 - Prosegue con Timoni Bloccati Dritta 25°
 - Prosegue con Timoni Bloccati Dritta 30°
 - Prosegue con Timoni Bloccati Dritta 35°
 - Prosegue con Timoni Bloccati Sinistra 5
 - Prosegue con Timoni Bloccati Sinistra 10°
 - Prosegue con Timoni Bloccati Sinistra 15°
 - Prosegue con Timoni Bloccati Sinistra 20°
 - Prosegue con Timoni Bloccati Sinistra 25°
 - Prosegue con Timoni Bloccati Sinistra 30°
 - Prosegue con Timoni Bloccati Sinistra 35°

Per ogni manovra Real Time, ad intervallo di 2 secondi, sono state attivate le 14 perturbazioni elencate. Ogni 2 secondi di manovra Real Time, vengono pertanto generate 14 differenti tracce.

Pertanto, ogni 2 secondi di manovra Real Time, il software CETENA : (brevetto CETENA N. 0001427579), analizza:

- 7 orientamenti per AGIP ABRUZZO
- 5 rotte per MOBY PRINCE
- 11 distanze di transito (200m di spaziatura)
- 14 modifiche all'angolo di timone

Ovvero **5390 differenti scenari di manovra ogni 2 secondi di manovra registrata.**

Essendo che il transito registrato per MOBY PRINCE durante le manovre Real Time impiega circa 10 minuti, applicando alle manovre registrate 14 diverse perturbazioni con intervallo di 2 secondi, si arriva ad ottenere **1.2 milioni di casi.**

Il calcolo eseguito dalle workstation impiegate ha richiesto 2 giorni di attività, ogni manovra è stata registrata nei suoi parametri principali al fine di poter in seguito applicare i filtri ed analizzare i risultati. Avendo a disposizione una così ampia mole di informazioni, è stato scelto registrare le informazioni su database MYSQL così da poter rapidamente eseguire le interrogazioni necessarie.



Pagine / Sheets	Report n.	Rev.	Titolo / Title
52 / 73	14698	00	Consulenza ingegneristica eventi MOBY PRINCE

7.3 Vantaggi del metodo d'indagine impiegato

Tra i vantaggi del presente metodo di indagine, si evidenzia quanto segue:

- Considerato il gran numero di casi analizzabili, il presente sistema si presta quale indagine statistica.
- Non è necessario avere il punto esatto di fonda per Agip Abruzzo in quanto l'analisi si basa sulla distanza/posizione reciproca tra MOBY PRINCE ed AGIP ABRUZZO.
- Il tipo di approccio e di conseguenza i risultati ottenuti, non risulta influenzato da opinioni/convinzioni soggettive, ad esclusione di quei punti ragionevolmente formati, che sono stati impiegati per la definizione dell'ambito di indagine (che risulta comunque ampliabile a piacere).
- L'intervento che sul transito di MOBY PRINCE modifica l'angolo del timone, genera un nuovo scenario ogni 2 secondi simulati. Avendo impostato a 18kn la velocità di transito per MOBY PRINCE, 2 secondi corrispondono a 18m circa (0.14 lunghezze scafo per MOBY PRINCE e 0.07 lunghezze scafo per AGIP ABRUZZO).
- L'analisi dei risultati si presta ad essere gestita mediante database (MySQL) così da poter rapidamente eseguire interrogazioni e filtri complessi sui dati registrati.

Titolo / Title	Report n.	Rev.	Pagine / Sheets
Consulenza ingegneristica eventi MOBY PRINCE	14698	00	53 / 73



8 Risultati ottenuti e conclusioni raggiunte

Nel presente capitolo sono illustrati i risultati ottenuti dall'analisi dei casi analizzati. Dopo un dovuto riassunto pertinente all'attività svolta, viene data descrizione della distribuzione statistica che ha contribuito alla definizione delle conclusioni.

8.1 Riassunto dell'attività svolta

La presente attività di consulenza è rivolta all'indagine delle possibili occorrenze che nel modificare la rotta di MOBY PRINCE, possono aver condotto ad una collisione con AGIP ABRUZZO, collisione coerente con le condizioni identificate nelle diverse perizie ricevute dal Committente.

Il lavoro è stato svolto avvalendosi delle competenze proprie e storiche del CETENA, quali la fluidodinamica numerica e la manovrabilità dei mezzi navali dislocanti.

La consulenza è stata sviluppata attraverso due obiettivi essenziali:

- Realizzare un modello matematico rappresentativo del comportamento manovriero per MOBY PRINCE;
- Costruire una modalità di lavoro e analisi dei risultati che non fosse influenzata da opinioni/convinzioni soggettive.

Entrambi gli obiettivi sono stati raggiunti con successo, seguendo una linea temporale caratterizzata da notevoli competenze trasversali.

La sintesi del modello di comportamento manovriero per MOBY PRINCE è stata ottenuta mediante una attività di reverse engineering applicata sui dati disponibili, principalmente relativi ai disegni costruttivi per MOBY PRINCE. Tale attività è stata inoltre affiancata ad un processo di validazione incrociata con tecniche di Computational Fluid Dynamics (CFD).

Lo studio delle occorrenze che possono aver portato alla collisione tra le due unità, è stato costruito in modo da poter in seguito condurre una analisi statistica basata su un ampio numero di casi simulati. Tale approccio investigativo, basato su analisi statistica, ha consentito di giungere alla sintesi delle conclusioni attraverso un minimo numero di assunzioni ragionevoli.

Pagine /
Sheets

54 / 73

Report n.

14698

Rev.

00

Titolo / Title

Consulenza ingegneristica eventi MOBY
PRINCE

Il campo di indagine impiegato nelle simulazioni di manovra è stato definito in:

Meteo

- Vento di intensità pari a 2.5 nodi proveniente da 160°
- Mare calmo
- Corrente assente

MOBY PRINCE

- Velocità 18kn
- Rotte considerate 190°, 195°, 200°, 205°, 210° (5 rotte)
- Rotte di transito a sinistra ed a dritta di AGIP ABRUZZO (11 distanze di transito con spaziatura di 200m)
- Modifiche all'angolo di timone da -35° a +35° con passo 5° (14 angoli)

AGIP ABRUZZO

- Nave ferma
- Heading 180°, 195°, 210°, 225°, 240°, 255°, 270° (7 orientamenti)

Il campo di indagine impiegato prevede la posizione di AGIP ABRUZZO al centro delle coordinate dello spazio di manovra. Tale metodo consente di studiare l'evento dal punto di vista di posizione relativa tra le due unità in studio, senza dover (almeno nella presente fase) fare assunzioni sulla posizione geografica del punto di fonda per AGIP ABRUZZO.

Il campo di indagine per gli scenari investigati risulta pertanto composto da:

- 7 orientamenti per AGIP ABRUZZO
- 5 rotte per MOBY PRINCE
- 11 distanze di transito
- 14 modifiche all'angolo di timone

la cui combinazione conduce a 5390 scenari.

Su ognuno dei 5390 scenari, ogni 2 secondi di "tempo manovra", è stato modificato l'angolo del timone per MOBY PRINCE, dando luogo alla generazione di un nuovo caso.

L'intervento all'angolo del timone per MOBY PRINCE, combinato con gli scenari investigati e la durata del transito, ha portato alla generazione di oltre 1.2 milioni di casi.

Titolo / Title

Report n.

Rev.

Pagine /
SheetsConsulenza ingegneristica eventi MOBY
PRINCE

14698

00

55 / 73



In considerazione dell'approccio statistico adottato, la quantità di casi analizzati è stata investigata anche sotto il profilo di “mole di dati” al fine di comprendere se il numero di casi a disposizione fosse sufficiente e rappresentativo per la sintesi dei risultati.

In Fig. 38 vi è la rappresentazione di alcuni nuovi casi generati in un particolare istante della manovra di transito.

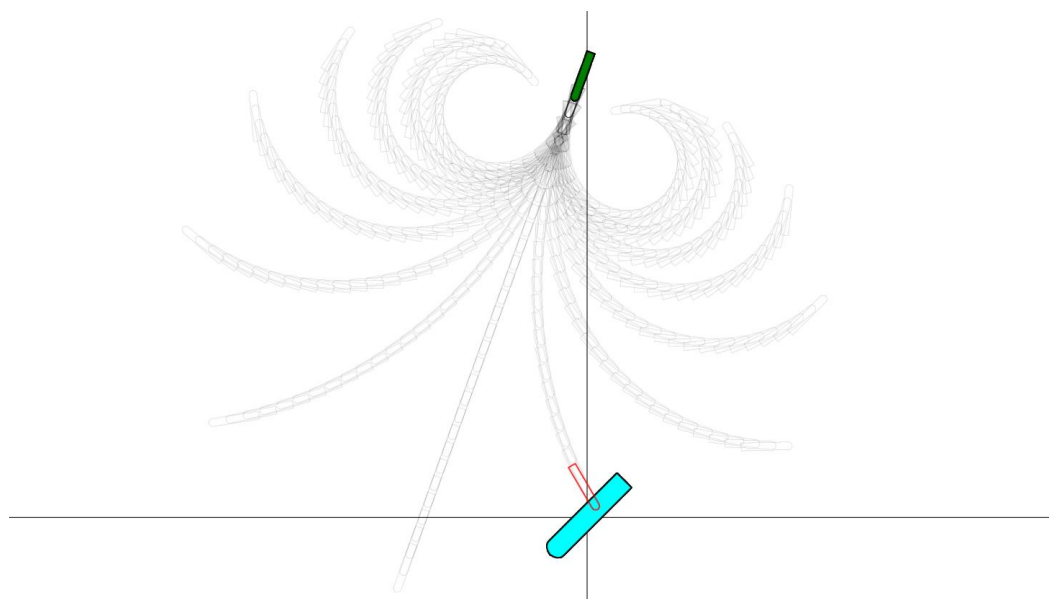


Fig. 38 – Generazione delle simulazioni

Legenda di Fig. 38

- In colore verde MOBY PRINCE
- In colore ciano AGIP ABRUZZO
- In colore rosso le sagome di MOBY PRINCE per le quali è stata rilevata una collisione



Pagine / Sheets	Report n.	Rev.	Titolo / Title
56 / 73	14698	00	Consulenza ingegneristica eventi MOBY PRINCE

8.2 Distribuzione statistica

L'insieme delle simulazioni generate (1.2 milioni), è stato caricato su database MYSQL in modo da poter agevolmente trattare nel dettaglio tutte le informazioni pertinenti.

Qui di seguito il risultato della distribuzione statistica sulle manovre investigate.

- Su 1.2 milioni di casi analizzati, nel 2.4% (29199 casi) è stata rilevata una collisione sulla murata di dritta di Agip Abruzzo;
- Nell'insieme dei casi che vedono una collisione a dritta, il 9.4% (2734 casi) si verifica con un angolo compreso tra i 64° ed i 76°

Il range 64° - 76° è stato scelto in funzione del valore indicato nella relazione finale della Commissione parlamentare (XVII leg.) [1] dove l'angolo di collisione tra MOBY PRINCE e AGIP ABRUZZO è stato identificato prossimo ai 70°.



Fig. 39 – Angolo di collisione tra MOBY PRINCE e AGIP ABRUZZO