

Titolo / Title	Report n.	Rev.	Pagine / Sheets
Consulenza ingegneristica eventi MOBY PRINCE	14698	00	9 / 73



In Fig. 3 e Fig. 4 vi sono due immagini rappresentative della sala di simulazione.



Fig. 3 Simulatore di manovra



Fig. 4 Simulatore di manovra – Scenario 3D relativo ad un'area portuale recentemente studiata

L'impianto di simulazione realizzato dal CETENA è sviluppato con pieno supporto alle caratteristiche richieste per eseguire simulazioni distribuite (**HLA Compliant**), ovvero consentire la possibilità di far interoperare il proprio simulatore con altri simulatori geograficamente distribuiti ma all'interno dello stesso scenario virtuale.

Lo sviluppo dei moduli di calcolo di cui il simulatore è composto trae inoltre continuo vantaggio e crescita dalla collaborazione con gli istituti di ricerca della **Marina Militare**, con l'**Università di Genova** ed alla presenza in diversi gruppi **NATO** rivolti al Virtual Prototyping.



Pagine / Sheets	Report n.	Rev.	Titolo / Title
10 / 73	14698	00	Consulenza ingegneristica eventi MOBY PRINCE

## 2 Committente

Commissione parlamentare di inchiesta sulle cause del disastro della nave "MOBY PRINCE".

Ordine N.: Prot:2021/0000093/MOBY - Del 22/12/2021

## 3 Contesto della consulenza

Al fine di contestualizzare la presente consulenza, qui di seguito è brevemente raccolta l'attività della commissione pertinente alla XVII Legislatura e la delibera di istituzione dell'attuale commissione parlamentare di inchiesta pertinente alla XVIII Legislatura.

### 3.1 XVII Legislatura

Da "ARCHIVI DELLE COMMISSIONI MONOCAMERALI DI INCHIESTA":

Periodo di attività della Commissione: XVII leg. (4 novembre 2015 - 22 gennaio 2018)

La «Commissione parlamentare di inchiesta sulle cause del disastro del traghetto Moby Prince» è stata istituita con deliberazione del 22 luglio 2015, pubblicata nella Gazzetta Ufficiale n. 170 del 24 luglio 2015. Come previsto dall'articolo 2 di tale deliberazione, la Commissione era composta da 20 senatori nominati dal Presidente del Senato che designava anche il suo Presidente al di fuori dei predetti componenti. La Commissione si costituì con la nomina a suo Presidente del senatore Silvio Lai Bachisio (nomina annunciata il 3 novembre 2015) e con l'elezione, da parte della Commissione, degli altri membri dell'ufficio di Presidenza, avvenuta il 4 novembre 2015.

Questa Commissione fu istituita con il compito di svolgere indagini sul noto incidente, avvenuto la notte tra il 10 e l'11 aprile 1991 davanti al porto di Livorno, che coinvolse il traghetto Moby Prince, di proprietà della Nav.Ar.Ma., e la petroliera Agip Abruzzo; in seguito alla collisione tra le due imbarcazioni, si sviluppò un vasto incendio, alimentato dal petrolio fuoriuscito dalla petroliera, che causò la morte di tutte le 140 persone a bordo del Moby Prince, equipaggio e passeggeri, eccetto che del giovane mozzo napoletano Alessio Bertrand.

Al fine di dissolvere i dubbi che per più di un quarto di secolo avevano avvolto la vicenda, particolarmente su quelle parti della tragedia che stridevano con fatti non considerati o con elementi segnalati o acquisiti successivamente, nel 2014 furono presentati in Senato tre documenti che chiedevano di istituire una Commissione d'inchiesta per fare luce sulle cause del disastro del traghetto Moby Prince.

I documenti (Doc. XXII, n. 17, Manconi ed altri; Doc. XXII, n. 14, Alessia Petraglia ed altri; Doc. XXII, n. 18, Paglini ed altri) furono presentati tra l'aprile e l'ottobre 2014 e assegnati, per essere esaminati congiuntamente in sede referente, alla Commissione permanente Lavori pubblici e comunicazioni.

Titolo / Title	Report n.	Rev.	Pagine / Sheets
Consulenza ingegneristica eventi MOBY PRINCE	14698	00	11 / 73



Tale Commissione elaborò una proposta di testo unificato che fu discusso dall'Assemblea di Palazzo Madama nella seduta pomeridiana del 22 luglio 2015, quando fu approvato con il titolo: «Istituzione di una Commissione parlamentare di inchiesta sulle cause del disastro del traghetto Moby Prince», dando vita alla deliberazione istitutiva.

All'articolo 1 tale deliberazione stabiliva i compiti della Commissione che doveva:

- a) chiarire i tempi di sopravvivenza minimi e massimi delle vittime del traghetto, alla luce dei dati tossicologici campionati, attraverso il riesame della documentazione medico-legale prodotta dai consulenti tecnici chiamati in dibattimento, opportunamente integrata con la documentazione fotografica e video realizzata all'interno del traghetto nel corso dei primi sopralluoghi e mai portata all'attenzione della magistratura, compresa quella eventualmente non ancora esaminata in possesso di autorità sia civili che militari;
- b) accertare le cause della collisione del traghetto con la petroliera Agip Abruzzo, avvenuta il 10 aprile 1991 nel porto di Livorno;
- c) accertare, in particolare:
  - 1) l'esatta posizione in cui la petroliera aveva dato ancoraggio e l'effettivo orientamento della prua;
  - 2) la rotta del traghetto e la rotta di collisione;
  - 3) il ruolo del personale della petroliera nell'immediatezza della collisione e successivamente;
  - 4) quali eventi si verificarono a bordo della petroliera antecedentemente alla collisione, nonché quale fosse il carico effettivamente trasportato dalla stessa;
  - 5) le condizioni di armamento del traghetto e della petroliera, sotto il profilo sia della corrispondenza dell'organizzazione di bordo sia delle regole di condotta nautica abitualmente seguite;
  - 6) lo stato di efficienza delle dotazioni di sicurezza di bordo, nonché le cause e le responsabilità dell'inefficienza dei soccorsi;
  - 7) le reali motivazioni sottese alle conclusioni delle indagini e al successivo proscioglimento dell'armatore Vincenzo Onorato, verificando altresì gli eventuali episodi di manomissione commessi nell'immediatezza dei fatti e nei periodi successivi, ad opera di personale della Compagnia Nav.Ar.Ma, ovvero di ignoti;
  - 8) le eventuali responsabilità relative a depistaggi od occultamenti di elementi utili allo svolgimento dell'accertamento dei fatti;



Pagine / Sheets	Report n.	Rev.	Titolo / Title
12 / 73	14698	00	Consulenza ingegneristica eventi MOBY PRINCE

9) il ruolo attivo o passivo delle navi ancorate in rada la notte della collisione, per accertare il quale la Commissione può procedere alla richiesta formale della documentazione sulla vicenda in possesso di organismi civili e militari, italiani e stranieri, anche di tipo video, fotografico o satellitare.

La Commissione lavorò due anni per fissare alcuni punti fermi che in tanto tempo erano rimasti in secondo piano: pur non riuscendo a chiarire tutti i punti oscuri di questa vicenda, la Commissione fu in grado di elaborare una ricostruzione decisamente più completa, e in parte inedita, di quanto avvenuto la notte tra il 10 e l'11 aprile 1991.

La Commissione scelse di iniziare la propria attività con un'audizione dedicata alla testimonianza dei rappresentanti delle due associazioni dei familiari: l'associazione «140», guidata da Loris Rispoli, e l'associazione «10 aprile», guidata da Angelo e Luchino Chessa. Queste associazioni consegnarono alla Commissione un documento di approfondimento con il quale evidenziarono le proprie legittime istanze di verità che la Commissione assunse in pieno, anche attraverso un ampio regime di pubblicità dei propri lavori: accanto ai resoconti sommario e stenografico, le audizioni ebbero quasi sempre pubblicità grazie alla trasmissione audio video sui canali web del Senato e la Commissione, nella seduta in cui approvò la relazione finale, deliberò di desecretare gran parte delle audizioni o di parte di esse su cui era stato posto il segreto.

La Commissione approfondì ogni possibile risvolto relativo alla collisione, analizzando compiutamente il ruolo e le eventuali responsabilità di ogni soggetto coinvolto, a qualsivoglia titolo, sia nel disastro, sia nella gestione dell'emergenza conseguente ad esso. Raccogliendo interi volumi di documentazione e svolgendo moltissime audizioni, nonché sopralluoghi al porto di Livorno, la Commissione arrivò alla conclusione di non concordare con le risultanze cui era pervenuta l'Autorità giudiziaria in esito ai vari procedimenti che riguardarono la tragedia: in particolare dissenti sulla riconducibilità della tragedia alla presenza della nebbia e alla condotta colposa, in termini di imprudenza e negligenza, avuta dal comando del traghetto Moby Prince. Tali conclusioni sono contenute in parte nelle due relazioni sull'attività svolta (Doc. XXII-bis, n. 5, concernente l'attività svolta fino al 31 luglio 2016; Doc. XXII-bis, n. 6, concernente l'attività svolta dal 31 luglio 2016 al 31 gennaio 2017) comunicate alla Presidenza del Senato rispettivamente il 30 novembre 2016 e il 25 maggio 2017, e poi contenute e maggiormente articolate nella relazione finale (Doc. XXII-bis, n. 8), approvata dalla Commissione il 22 dicembre 2017 e comunicata alla Presidenza del Senato il 22 gennaio 2018.

Titolo / Title	Report n.	Rev.	Pagine / Sheets
Consulenza ingegneristica eventi MOBY PRINCE	14698	00	13 / 73



### 3.2 XVIII Legislatura

Da "Gazzetta Ufficiale (GU Serie Generale n.117 del 18-05-2021)"

Delibera del 12 maggio 2021

Istituzione di una Commissione parlamentare di inchiesta sulle cause del disastro della nave «Moby Prince».

Art. 1 Istituzione, competenze e durata della Commissione

1. E' istituita, ai sensi dell'articolo 82 della Costituzione, una Commissione parlamentare di inchiesta sulle cause del disastro della nave «Moby Prince», di seguito denominata «Commissione», al fine di accertare le cause della collisione del traghetto «Moby Prince» con la petroliera «Agip Abruzzo», avvenuta il 10 aprile 1991 nella rada del porto di Livorno, e le circostanze della morte di centoquaranta persone tra passeggeri e membri dell'equipaggio in conseguenza della collisione.

2. La Commissione, in particolare, ha il compito di:

a) ricercare e valutare eventuali nuovi elementi che possano integrare le conoscenze sulle cause e sulle circostanze del disastro del traghetto «Moby Prince», acquisite dalla Commissione parlamentare di inchiesta istituita nella XVII legislatura con deliberazione del Senato della Repubblica 22 luglio 2015, pubblicata nella Gazzetta Ufficiale n. 170 del 24 luglio 2015;

b) accertare eventuali responsabilita' in ordine ai fatti di cui al comma 1 riconducibili ad apparati, strutture od organizzazioni comunque denominati ovvero a persone;

c) accertare con la massima precisione le circostanze della collisione tra il traghetto «Moby Prince» e la petroliera «Agip Abruzzo», le comunicazioni radio intercorse tra soggetti pubblici e privati nelle giornate del 10 e 11 aprile 1991, i tracciati radar e le rilevazioni satellitari di qualsiasi provenienza riguardanti il tratto di mare prospiciente il porto di Livorno nelle stesse giornate;

d) verificare fatti, atti e condotte commissive od omissive che abbiano costituito o costituiscano ostacolo, ritardo o difficolta' per l'accertamento giurisdizionale delle responsabilita' relative al disastro della nave «Moby Prince»;

e) esaminare le procedure, le modalita' e i mezzi con cui sono stati organizzati e attuati i soccorsi in mare, le circostanze nelle quali essi sono stati condotti e ogni altro fatto utile a individuare eventuali responsabilita' di individui o enti pubblici o privati in ogni fase, anche successiva allo svolgimento degli eventi;

f) accertare eventuali correlazioni tra l'incidente ed eventuali traffici illegali di armi, combustibili, scorie e rifiuti tossici avvenuti nella notte del 10 aprile 1991 nella rada di Livorno, a partire dalla documentazione acquisita nel corso dei lavori della Commissione parlamentare di inchiesta di cui alla lettera a);



Pagine / Sheets	Report n.	Rev.	Titolo / Title
14 / 73	14698	00	Consulenza ingegneristica eventi MOBY PRINCE

g) valutare i termini dell'accordo armatoriale sottoscritto a Genova il 18 giugno 1991 tra la Navigazione arcipelago maddalenino (Nav.Ar.Ma) Spa, l'Unione mediterranea di sicurtà e The Standard Steamship Owners Protection and Indemnity Association (Bermuda) Limited da una parte e, dall'altra, l'ENI Spa, la Società nazionale metanodotti (SNAM), l'AGIP, la Padana assicurazioni Spa e l'Assuranceforeningen Skuld, con particolare riferimento alle perizie in forza delle quali furono determinati gli importi erogati alle compagnie armatrici e ai familiari delle vittime.

3. La Commissione conclude i propri lavori entro la fine della XVIII legislatura.

4. La Commissione presenta alla Camera una relazione annuale sulla sua attività e, al termine dei suoi lavori, una relazione finale sulle conclusioni dell'inchiesta. Sono ammesse relazioni di minoranza.

#### Art. 2 Composizione della Commissione

1. La Commissione è composta da venti deputati, nominati dal Presidente della Camera dei deputati in proporzione al numero dei componenti dei gruppi parlamentari, assicurando comunque la presenza di un rappresentante per ciascun gruppo.

2. Il Presidente della Camera dei deputati, entro dieci giorni dalla nomina dei componenti, convoca la Commissione per la sua costituzione.

3. La Commissione, nella prima seduta, elegge il presidente, due vicepresidenti e due segretari. Si applicano le disposizioni dell'articolo 20, commi 2, 3 e 4, del Regolamento della Camera dei deputati.

#### Art. 3 Poteri e limiti della Commissione

1. La Commissione procede alle indagini e agli esami con gli stessi poteri e le stesse limitazioni dell'autorità giudiziaria.

2. La Commissione non può adottare provvedimenti attinenti alla libertà e alla segretezza della corrispondenza e di ogni altra forma di comunicazione nonché alla libertà personale, fatto salvo l'accompagnamento coattivo di cui all'articolo 133 del codice di procedura penale.

3. Per le audizioni a testimonianza rese davanti alla Commissione si applicano le disposizioni di cui agli articoli da 366 a 384-bis del codice penale.

4. Per il segreto di Stato nonché per i segreti d'ufficio, professionale e bancario si applicano le norme vigenti. È sempre opponibile il segreto tra difensore e parte processuale nell'ambito del mandato.

Titolo / Title	Report n.	Rev.	Pagine / Sheets
Consulenza ingegneristica eventi MOBY PRINCE	14698	00	15 / 73



#### Art. 4 Richiesta di atti e documenti

1. La Commissione ha facolta' di acquisire copie di atti e documenti relativi a procedimenti e inchieste in corso presso l'autorita' giudiziaria o altri organismi inquirenti, anche se coperti da segreto.

2. Sulle richieste a essa rivolte l'autorita' giudiziaria provvede ai sensi dell'articolo 117 del codice di procedura penale. L'autorita' giudiziaria puo' trasmettere copie di atti e di documenti anche di propria iniziativa.

3. La Commissione ha altresì facolta' di acquisire copie di atti e di documenti relativi a indagini e inchieste parlamentari. La Commissione acquisisce ed esamina la documentazione raccolta e le relazioni presentate dalla Commissione parlamentare di inchiesta sulle cause del disastro del traghetto «Moby Prince», di cui all'articolo 1, comma 2, lettera a).

4. Quando gli atti o i documenti siano stati assoggettati al vincolo di segreto funzionale da parte delle competenti Commissioni parlamentari di inchiesta, tale segreto non puo' essere opposto alla Commissione.

5. La Commissione garantisce il mantenimento del regime di segretezza fino a quando gli atti e i documenti acquisiti o trasmessi in copia ai sensi dei commi 1, 2, 3 e 4 siano coperti dal segreto.

6. La Commissione ha facolta' di acquisire da organi e uffici della pubblica amministrazione copie di atti e di documenti da essi custoditi, prodotti o comunque acquisiti in materia attinente all'oggetto dell'inchiesta.

7. La Commissione stabilisce quali atti e documenti non devono essere divulgati, anche in relazione ad esigenze attinenti ad altre istruttorie o inchieste in corso. Devono comunque essere coperti dal segreto gli atti e i documenti attinenti a procedimenti giudiziari nella fase delle indagini preliminari.

#### Art. 5 Obbligo del segreto

1. I componenti della Commissione, i funzionari e il personale addetti alla Commissione stessa e ogni altra persona che collabora con essa o compie o concorre a compiere atti d'inchiesta oppure ne viene a conoscenza per ragioni d'ufficio o di servizio sono obbligati al segreto, anche dopo la cessazione dell'incarico, per tutto quanto riguarda gli atti e i documenti di cui all'articolo 4, commi 5 e 7.



Pagine / Sheets	Report n.	Rev.	Titolo / Title
16 / 73	14698	00	Consulenza ingegneristica eventi MOBY PRINCE

2. La violazione dell'obbligo di cui al comma 1 e la diffusione, in tutto o in parte, anche per riassunto o informazione, di atti o documenti del procedimento di inchiesta coperti dal segreto o dei quali e' stata vietata la divulgazione sono punite a norma delle leggi vigenti.

#### Art. 6 Organizzazione interna

1. L'attivita' e il funzionamento della Commissione sono disciplinati da un regolamento interno approvato dalla Commissione stessa prima dell'inizio dei lavori. Ciascun componente puo' proporre modifiche alle norme regolamentari.

2. Le sedute della Commissione sono pubbliche. La Commissione puo' deliberare di riunirsi in seduta segreta.

3. La Commissione puo' avvalersi dell'opera di agenti e ufficiali di polizia giudiziaria nonche' di tutte le collaborazioni che ritenga necessarie, di soggetti interni o esterni all'amministrazione dello Stato autorizzati, ove occorra e con il loro consenso, dagli organi a cio' deputati e dai Ministeri competenti. Con il regolamento interno di cui al comma 1 e' stabilito il numero massimo di collaborazioni di cui puo' avvalersi la Commissione.

4. Per lo svolgimento dei propri compiti la Commissione fruisce di personale, locali e strumenti operativi messi a disposizione dal Presidente della Camera dei deputati.

5. La Commissione cura l'informatizzazione dei documenti acquisiti e prodotti nel corso della propria attivita'.

6. Le spese per il funzionamento della Commissione sono stabilite nel limite massimo di 50.000 euro annui e sono poste a carico del bilancio interno della Camera dei deputati.

Roma, 12 maggio 2021

Il Presidente: Fico

Titolo / Title	Report n.	Rev.	Pagine / Sheets
Consulenza ingegneristica eventi MOBY PRINCE	14698	00	17 / 73



## 4 Scopo del lavoro

Scopo della presente attività è l'investigazione attraverso simulazioni di manovra, dei tracciati nave per MOBY PRINCE che possono aver condotto alla collisione con la nave AGIP ABRUZZO ormeggiata al largo del Porto di Livorno.

Mediante approccio statistico sui dati provenienti dalle simulazioni realizzate, la consulenza ingegneristica ha l'obiettivo di individuare le interferenze/collisioni tra le due unità navali. Tenendo in considerazione:

- le condizioni meteo-marine presenti al momento della collisione (10 aprile 1991)
- diversi angoli di rotta per MOBY PRINCE
- diversi orientamenti per AGIP ABRUZZO
- diverse modifiche dell'angolo del timone per MOBY PRINCE
- la velocità di transito per MOBY PRINCE
- l'angolo di impatto tra le due unità navali

Le simulazioni vedranno un primo insieme di manovre Real-Time utili a registrare le tracce di transito in condizioni indisturbate, tali tracciati saranno in seguito elaborati e riformulati dal software di simulazione al fine di intervenire sulla manovra con azioni di modifica dell'angolo del timone per MOBY PRINCE.

In ogni istante della manovra simulata per la nave MOBY PRINCE, saranno generati differenti scenari di variazione di rotta (brevetto CETENA N. 0001427579), l'esito di ogni scenario sarà in seguito analizzato al fine di rilevare le interferenze tra le navi considerate (angolo di collisione, posizione reciproca, distanza percorsa, tempo trascorso).



Pagine / Sheets	Report n.	Rev.	Titolo / Title
18 / 73	14698	00	Consulenza ingegneristica eventi MOBY PRINCE

## 5 Configurazione e condizioni generali delle simulazioni di manovra

### 5.1 Caratteristiche principali della nave MOBY PRINCE

Le caratteristiche principali pertinenti al comportamento manovriero della nave MOBY PRINCE sono state riassunte in Tab. 1. La nave è una bielica a pale orientabili, propulsa da 4 motori MAN da 4890cv ognuno, per un totale di 19560cv (14377 KW) ed ha una velocità di progetto pari a 22.3 nodi.



<b>Ship main data</b>		
Max speed	22.3	knots
Length between perpendiculars	115	m
Length over all	130.6	m
Beam	20.1	m
Draught	4.5	m
Displacement	5407.0	t
Frontal wind area	322	m <sup>2</sup>
Lateral wind area	1758	m <sup>2</sup>
<b>Propeller data</b>		
Propeller number	2	CPP
Blades number	4	
Diameter	3.25	m
Propeller revolutions	216	RPM
<b>Engine data</b>		
Engine power	19560	HP
<b>Transverse thrusters</b>		
Bow thrusters	2100	KW
Stern thrusters	-	KW

Tab. 1 – MOBY PRINCE, caratteristiche principali

Titolo / Title	Report n.	Rev.	Pagine / Sheets
Consulenza ingegneristica eventi MOBY PRINCE	14698	00	19 / 73



## 5.2 Caratteristiche principali della nave AGIP ABRUZZO

Nella presente analisi, essendo AGIP ABRUZZO ormeggiata, risultano rilevanti le sole informazioni geometriche di lunghezza e larghezza.



Ship main data		
Max speed	-	knots
Length between perpendiculars	-	m
Length over all	268	m
Beam	52	m
Draught	-	m
Displacement	-	t
Frontal wind area	-	m <sup>2</sup>
Lateral wind area	-	m <sup>2</sup>
Propeller data		
Propeller number	-	CPP
Blades number	-	
Diameter	-	m
Propeller revolutions	-	RPM
Engine data		
Engine power	-	HP
Transverse thrusters		
Bow thrusters	-	KW
Stern thrusters	-	KW

Tab. 2 – AGIP ABRUZZO, dimensioni principali



Pagine / Sheets	Report n.	Rev.	Titolo / Title
20 / 73	14698	00	Consulenza ingegneristica eventi MOBY PRINCE

### 5.3 Definizione dell'area di manovra

Mare aperto al largo del porto di Livorno.

### 5.4 Condizioni meteomarine

Vento debole 2.5 nodi proveniente da 160°, mare calmo e corrente assente.

## 6 Realizzazione del modello di manovrabilità per MOBY PRINCE

Nel presente capitolo viene data evidenza del processo impiegato nella realizzazione e validazione del modello di manovrabilità per MOBY PRINCE. Impiegando modelli di simulazione sofisticati, il numero di parametri necessari alla caratterizzazione del modello risulta inevitabilmente ampio e dettagliato. Diversamente alla tradizionale quantità di informazioni disponibili per costruzioni recenti, nel caso contingente è stato indispensabile ricavare molte delle informazioni mediante un'opera di "Reverse Engineering", ovvero un processo di deduzione, sintesi e validazione dei dati identificati.

### 6.1 Reverse engineering

Parte dell'attività CETENA si è concentrata sull'analisi del materiale disponibile al fine di ricostruire un modello matematico affidabile per la simulazione di manovra dell'unità; oltre all'analisi di alcune perizie e testimonianze utili per identificare i possibili scenari su cui impostare la fase finale dello studio, il personale CETENA si è attivato per definire i principali elementi del modello della nave e cioè:

- la geometria di carena;
- le caratteristiche dell'elica;
- le caratteristiche dei timoni.

Il primo punto in particolare risulta determinante per tutte le fasi successive, in quanto dalle forme di carena derivano le forze idrodinamiche che caratterizzano la manovrabilità del mezzo navale, sia in rotta rettilinea (curva di resistenza al moto) che in accostata (coefficienti idrodinamici di manovra).

Per questo motivo è stato scelto di consolidare una ragionevole forma di carena prima di procedere con gli studi successivi, in modo da eliminare un primo grande eventuale fattore di aleatorietà dello studio. Infatti, mentre è possibile in maniera relativamente rapida modificare alcune caratteristiche idrodinamiche "minori" del modello come elica e timoni, non sarebbe possibile mantenere anche la variabilità sulla forma di carena, pena un inaccettabile allungamento dei tempi dello studio.

In merito ad eliche e timoni, sono state ricavate le caratteristiche geometriche a partire dai disegni e dalle immagini disponibili.

Titolo / Title	Report n.	Rev.	Pagine / Sheets
Consulenza ingegneristica eventi MOBY PRINCE	14698	00	21 / 73



Relativamente ai timoni sono state calcolate le caratteristiche fisiche di portanza e resistenza validate anche attraverso l'analisi spinte delle eliche (dipendenti a loro volta dalla resistenza di carena).

Non essendo disponibile il dato progettuale sulla forma di carena (tipicamente riportato nella tavola "Piano di costruzione" o "Body Plan"), in quanto informazione proprietaria del cantiere costruttore, si è proceduto con diverse tecniche alla ricostruzione della geometria 3D di carena con un procedimento di "reverse engineering".

Si sono perciò ricavate da varie tavole (piani generali, sezioni longitudinali e sezione maestra) alcune linee caratteristiche su cui è stata estrapolata una forma di carena di primo tentativo, che è stata successivamente manipolata con un tool CAD 3D proprietario in modo da ottenere il più possibile le caratteristiche idrostatiche riportate nelle istruzioni al comandante (dato disponibile).

Ad ulteriore validazione dell'accuratezza della forma di carena è stata realizzata un'attività di benchmarking della curva di resistenza al moto rettilineo calcolata con diversi approcci:

- mediante l'utilizzo delle caratteristiche dell'elica e della legge tacca-telegrafo;
- con un metodo statistico semplificato (Holtrop) basato sulle caratteristiche principali di carena disponibili in buona parte nel materiale disponibile;
- con un calcolo a ritroso dalla potenza propulsiva considerando la catena dei rendimenti;
- tramite tecniche numeriche di CFD (Computational Fluid Dynamics) utilizzando la geometria di carena ricostruita;

Verificata la consistenza ed i risultati del benchmarking, è stato possibile consolidare la forma di carena e procedere con il calcolo dei coefficienti idrodinamici necessari alla determinazione delle forze sulla carena in fase di manovra.

Per tale task è stato sfruttato il know-how sviluppato negli anni, che ha consistito nello sviluppo di un "digital twin" delle prove in vasca con modello vincolato (Planar Motion Mechanism e Rotating Arm), in cui, tramite simulazioni CFD, sono stati calcolati i coefficienti idrodinamici per la rotta non rettilinea.

Tutti i presenti elementi preliminari dello studio (forma di carena, curva di resistenza, coefficienti idrodinamici, caratteristiche di eliche e timoni) sono stati in seguito integrati in un modello di manovrabilità per MOBY PRINCE inserito in un "ambiente virtuale" caratterizzato da opportune condizioni meteo-marine e dalla posizione di AGIP ABRUZZO, al fine di sviluppare una serie sistematica di simulazioni volte a verificare statisticamente gli scenari ipotizzati negli approfondimenti delle Commissioni Parlamentari e la loro compatibilità con gli elementi oggettivi agli atti.



Pagine / Sheets	Report n.	Rev.	Titolo / Title
22 / 73	14698	00	Consulenza ingegneristica eventi MOBY PRINCE

## 6.2 Geometrie di carena e curve di resistenza

Il calcolo della resistenza al moto nella condizione di design è stato effettuato utilizzando differenti approcci: Una volta consolidati i risultati ottenuti è stato possibile calcolare la resistenza al moto e i rispettivi coefficienti idrodinamici nella condizione di carico relativa all' incidente.

### 6.2.1 Tacca-Telegrafo

E' stato eseguito un confronto della legge tacca-telegrafo di MOBY PRINCE con curve note provenienti dalle serie di Wageningen.

Il procedimento consiste nel calcolare la spinta dell'elica per un punto di funzionamento noto (preso dalla legge Tacca-Telegrafo), impiegando per il calcolo le serie di Wageningen.

Il punto preso in considerazione per il calcolo della spinta dell'elica è:

- Speed = 19 kn
- Velocità di rotazione dell'elica = 215 rpm
- Diametro elica = 3.25m

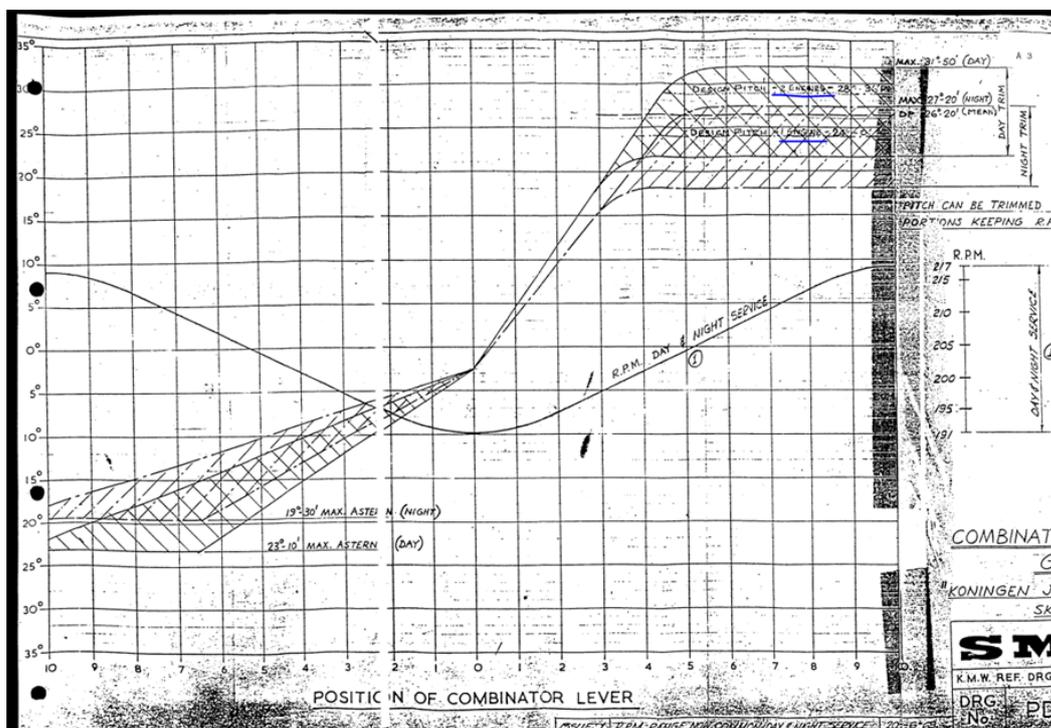


Fig. 5 – Legge Tacca-Telegrafo di MOBY PRINCE

Titolo / Title	Report n.	Rev.	Pagine / Sheets
Consulenza ingegneristica eventi MOBY PRINCE	14698	00	23 / 73



La procedura prevede il calcolo del parametro J a partire da velocità nave e numero di giri dell'elica, ottenuto il J si entra nella serie di Wageningen Fig. 6 in modo da ottenete i valori di KT e KQ (valori utili al calcolo di spinta e coppia all'elica).

Attraverso il valore di spinta è possibile ricondursi alla resistenza di carena (per il punto di valore scelto) applicando alcuni coefficienti propulsivi navi bielica simili a MOBY PRINCE:

- $1-t = 0.92$ ;  $1-w=0.95$
- sea margin = 10%

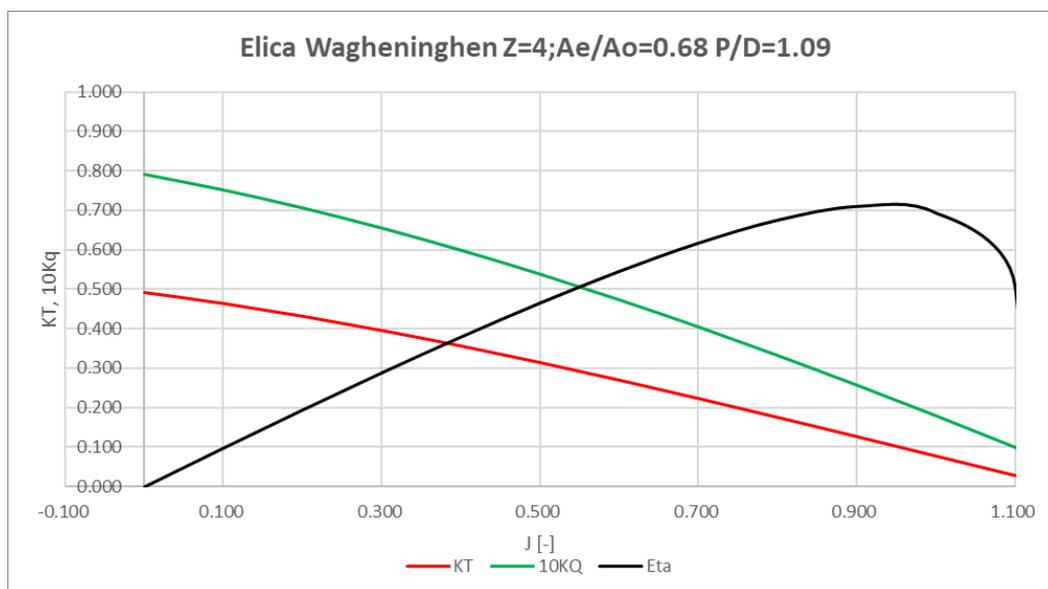


Fig. 6 – Curve provenienti dalle serie di Wagheningen



Pagine / Sheets	Report n.	Rev.	Titolo / Title
24 / 73	14698	00	Consulenza ingegneristica eventi MOBY PRINCE

## 6.2.2 Metodo statistico di Holtrop

Il metodo di Holtrop è stato utilizzato per calcolare la resistenza al moto sia nella condizione di carico di progetto (al fine di confrontare i risultati con le altre metodologie) che nella condizione relativa all' incidente. Per calcolo della resistenza con questa metodologia è stato necessario utilizzare come input un set di parametri (dati certi) e un set di variabili (dati incerti), riportati nelle tabelle sottostanti rispettivamente in giallo e in verde.

$\Delta = 5407[t]$	MIN	MAX
Lpp [m]	115.062	
Lwl [m]	117.8	122.6
Bwl [m]	20.1	20.1
T [m]	4.5	
$\Delta$ [t]	5407	
LBC pp2 [m] (>0 ahead)	-3.86	
Ws [m <sup>2</sup> ]	1975	2413
Transom Area [m <sup>2</sup> ]	0.0	0.0
Cx [-]	0.900	0.950
Cwp [-]	0.650	0.690
% Rt APP [kN]	16.00%	

Fig. 7 – Immersione a 4.5m