



Autorità di Sistema Portuale del Mar Tirreno Settentrionale
Scali Rosciano, 6 - 57123 Livorno, Italia

R.U.P. ing. Enrico Pribaz
D.E.C. ing. Ilaria Lotti

R.T.P.



30035 Mirano (VE)
Viale Belvedere, 8/10
www.fm-ingegneria.com

Tel. +39 041 5785 711
Fax +39 041 4355 933
portolivorno@fm-ingegneria.com



P.O. Box 1132
3800 BC Amersfoort
The Netherlands
www.royalhaskoningdhv.com

Tel. +44 (0)207 222 2115
Fax +44 (0)207 222 2659
info@rhdhv.com



35027 Noventa Padovana (PD)
Via Panà 56/a

Tel. +39 049 8945 087
Fax +39 049 8707 868
mail@hsmarinesrl.com



31027 Spresiano (TV)
Via Tiepolo, 8
www.gtgeo.it

Tel. +39 0422 8870 31
Fax +39 0422 8895 89
info@gtgeo.it

PROGETTO

**PROGETTAZIONE PRELIMINARE E DEFINITIVA DELLE
OPERE MARITTIME DI DIFESA E DEI DRAGAGGI PREVISTI
NELLA NUOVA PRIMA FASE DI ATTUAZIONE DELLA
PIATTAFORMA EUROPA, COMPRESO LO STUDIO DI
IMPATTO AMBIENTALE E LA VALUTAZIONE DI INCIDENZA
AMBIENTALE**

EMISSIONE

PROGETTO PRELIMINARE

TITOLO

D - IDRAULICA MARITTIMA
Studio della navigabilità

REV.	DATA	FILE	OGGETTO	DIS.	APPR.
1					
2					
3					
4					
5					

ELABORATO N.

D005

DATA: 08/11/2019	SCALA: -	FILE: 1233_PP-D-005_0.doc	J.N. 1233/'19
PROGETTO T. Neal	DISEGNO C. Ohl	VERIFICA N. Sguotti	APPROVAZIONE T. Tassi

REPORT

Navigation Study and Simulations

Port of Livorno

Client: Autorità di Sistem Portuale del Mar Tirreno
 Settentrionale

Reference: PB9376-RHDHV-ZZ-XX-RP-Z-0001

Status: Draft/P01.03

Date: Friday, 08 November 2019

HASKONINGDHV UK LTD.

2 Abbey Gardens
Great College Street
London
SW1P 3NL
Maritime & Aviation
VAT registration number: 792428892

+44 207 2222115 **T**
info@uk.rhdhv.com **E**
royalhaskoningdhv.com **W**

Document title: Navigation Study and Simulations

Document short title: Navigation Study and Simulations
Reference: PB9376-RHDHV-ZZ-XX-RP-Z-0001
Status: P01.03/Draft
Date: Friday, 08 November 2019
Project name: Piattaforma Europa Preliminary Design
Project number: PB9376
Author(s): Siobhan Vaughan / Cliff Ohl

Drafted by: Cliff Ohl

Checked by: Gosse de Boer / Perry Groenewegen

Date / initials: Perry Groenewegen 08Nov2019

Approved by: Sergej Sergijenko / Tony Neal

Date / initials: Tony Neal 08Nov2019

Classification

Confidential



Disclaimer

No part of these specifications/printed matter may be reproduced and/or published by print, photocopy, microfilm or by any other means, without the prior written permission of HaskoningDHV UK Ltd.; nor may they be used, without such permission, for any purposes other than that for which they were produced. HaskoningDHV UK Ltd. accepts no responsibility or liability for these specifications/printed matter to any party other than the persons by whom it was commissioned and as concluded under that Appointment. The integrated QHSE management system of HaskoningDHV UK Ltd. has been certified in accordance with ISO 9001:2015, ISO 14001:2015 and ISO 45001:2018.

Table of Contents

1	Introduction	4
1.1	Project Background	4
1.2	Scope of Work	4
2	Basis of Study and Simulations	7
2.1	Nautical Layout	7
2.2	Vessel Operations	7
2.3	Environmental Conditions	9
3	Assessment	19
3.1	Methodology	19
3.2	Channel Width	19
3.3	Turning Area	19
3.4	External Loads	20
3.5	Fast-Time Simulations	23
4	Conclusion	27
4.1	Summary	27
4.2	Recommendations	27
5	References	28

Appendices

A1	Vessel Model
A2	Example Simulation Records

Acronyms and Abbreviations

Bft	Beaufort
LOA	Length Overall
MSL	mean sea level
RHDHV	Royal HaskoningDHV
s.m.m.	sul medio mare, i.e. above mean sea level
TEU	Twenty-Foot Equivalent Unit
UKC	Under Keel Clearance
UKHO	United Kingdom Hydrography Office

1 Introduction

1.1 Project Background

Royal HaskoningDHV (RHDHV) and F&M Ingegneria (F&M) are collaborating in the design of the breakwaters and dredging required for a major expansion of the Port of Livorno in north-west Tuscany, Italy (Figure 1). This expansion comprises the construction of a new Port, west of the existing port (as per indicative sketch in Figure 2).

1.2 Scope of Work

This vessel navigation study (including fast-time simulations using SHIPMA software) considers:

- Arrival and departure of container vessels with nominal capacity 16,000TEU and 400m LOA;
- Use of the new channel, new turning circle and new container terminal;
- Vessels subject to 24h/year environmental conditions (wind, wave and current);
- Estimated requirements for tug assistance during manoeuvres, i.e. number of tugs and bollard pull as based on current port operations at Livorno.

Note that previous fast-time and real-time simulations have been conducted by others. However, these simulations were for the existing port and may not have considered some environmental conditions, such as the effects of waves on the manoeuvring of vessels through the port access channel.

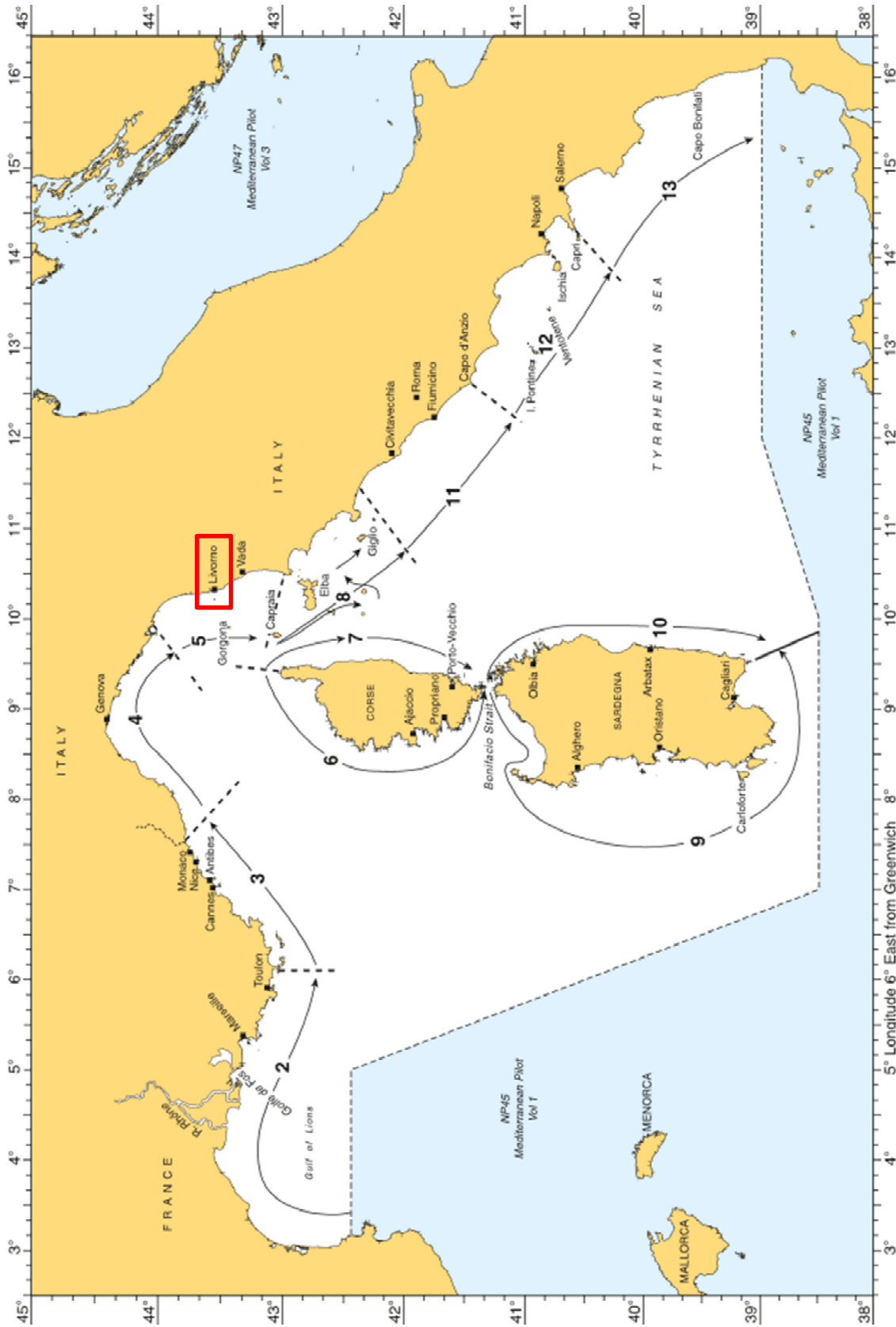


Figure 1: Port of Livorno – Location indicated with red box (UKHO, 2018)

2 Basis of Study and Simulations

2.1 Nautical Layout

The existing port of Livorno (43°33'N 10°18'E) is characterised as follows (UKHO, 2018):

- Location on a wide plain backed by hills in the north part of the city;
- Protected by breakwaters and with an extensive area of shoals approximately 5nm to the west (providing shelter to the outer anchorages);
- Approaches from NW or SW, with dredged depth 15m in the Bocca Sud entrance, though the port is subject to siltation;

As provided in Figure 2, the new port layout is as provided by F&M (i.e. as used in the hydraulic models for assessment of design wave conditions) and comprises the following new structures:

- Navigation channel with:
 - Outer channel alignment SSW to NNE, with a slight turn east into the new port inner basin;
 - 250m width at dredge depth level throughout;
 - Dredge level -17.0m MSL in the outer channel and -16.0m MSL in the inner channel, though future deepening is planned to accommodate larger vessels with deeper draught.
- Outer and inner breakwaters;
- Manoeuvring areas with nominal turning circle diameters as follows:
 - At outer port entrance adjacent to outer breakwaters 800m
 - At inner port entrance, adjacent to the new container quay 600m
 - Adjacent to existing port 500m

2.2 Vessel Operations

2.2.1 Design Vessel

The following table provides the principal characteristics of the design vessel (container vessel) to be considered in the study and SHIPMA vessel model (CON052) selected as most appropriate for the simulations. The design vessel is the only vessel to be considered as it is the principal focus of the new port development, e.g. Ro-Ro vessels, bulk carriers, etc. will not be addressed in this study.

Table 1: Design vessel characteristics

Reference	TEU	LOA (m)	Beam (m)	Depth (m)	Draught (m)	Displacement (tonnes)	Water depth* (m)
Design Vessel	16,000	400	-	-	15.0	-	-
CON052 (Triple E)	18,000	400	59.0	30.2	16.0	259,000	17.6 -19.2

Note: * water depths for which the simulation vessel model has been calibrated



Figure 3: Photograph of a Triple E class container vessel with similar parameters to the Design Vessel (RINA, 2013)

For this study, the CON052 vessel model has been selected primarily due to the length overall (LOA) matching that of the design vessel; and approximate under keel clearance (UKC) for the calibrated vessel model. UKC has a significant impact on vessel manoeuvrability, with low UKC typically resulting in lower manoeuvrability and a more conservative simulation, and the CON052 vessel model can be used to simulate a relatively low UKC (i.e. similar to the design vessel).

2.2.2 Tugs

Available tugs are assumed to be as per the vessel list provided by Neri (2019a and 2019b) and tug / vessel towing operations as per discussions between F&M and Neri, including the following considerations:

- Maximum ship velocity inside the port 6 knots;
- Tugs can be connected to the ship outside of the port but will pull the ship only at speed lower than 6 knots;
- Considering that tugs operate with short length steel ropes (due to limited manoeuvring space), in ordinary conditions (no emergency) it is preferable to pull the ship only in sheltered waters (inside the port);
- 3 or 4 tugs will be used for ship drive and assistance: 1 or 2 stern tugs to be connected first to maintain rudder efficiency at slow speed (engine slow, stern tugs pulling);
- Types of tugs available at Livorno Port (belonging to the Neri fleet):
 - Tractor tugs
(power: 70 tonnes bollard pull, from 5500 to 6900 horsepower;
length 24-30 m; width 12-13.5 m; draft 5-6.5 m)
 - ASD tugs
(power: >70 tonnes bollard pull, up to 90 tonnes, from 5500 to 6900 horsepower;
length 29-32 m; width 12-13.5 m; draft 5-6.5 m)
- Preferably, navigation simulations should consider tugs with maximum 70 tonnes bollard pull.

2.2.3 Berthed Vessel Heading

Based on in discussions with the Coast Guard (F&M, 2019a), design vessels moored at the new container terminal will be arranged bow to bow to facilitate faster departure if required, as shown in **Figure 4**. The present study does not simulate final vessel manoeuvres onto the berth; and this requirement should be noted for future studies, e.g. real time simulations.



Figure 4: Berthed vessel heading for design vessels at new container terminal (F&M, 2019a)

2.3 Environmental Conditions

Environmental conditions are based on:

- Hydraulic model results provided by F&M (2019b) for 24h/year events from three sectors as indicated in **Table 2**; and
- NP46, Admiralty Sailing Directions, Mediterranean Pilot Volume 2 (UKHO, 2018), predominately used as a comparison to the F&M model results, e.g. for verification and calibration.

Table 2: Offshore environmental conditions (mean values) (F&M, 2019b)

Condition Reference	Sector (°N)	Significant wave height (m)	Peak period (s)	Direction from (°N)	Wind speed (m/s)	Wind direction (°N)
1	150-220	2.4	6.7	170	10.0	170
2	220-280	4.3	9.4	250	12.2	250
3	280-340	2.1	7.3	290	8.4	290

2.3.1 Bathymetry

Bathymetric data is illustrated in the figure below, i.e. as used in the hydraulic wave and current modelling by F&M (2019b), with water depth in metres to mean sea level.

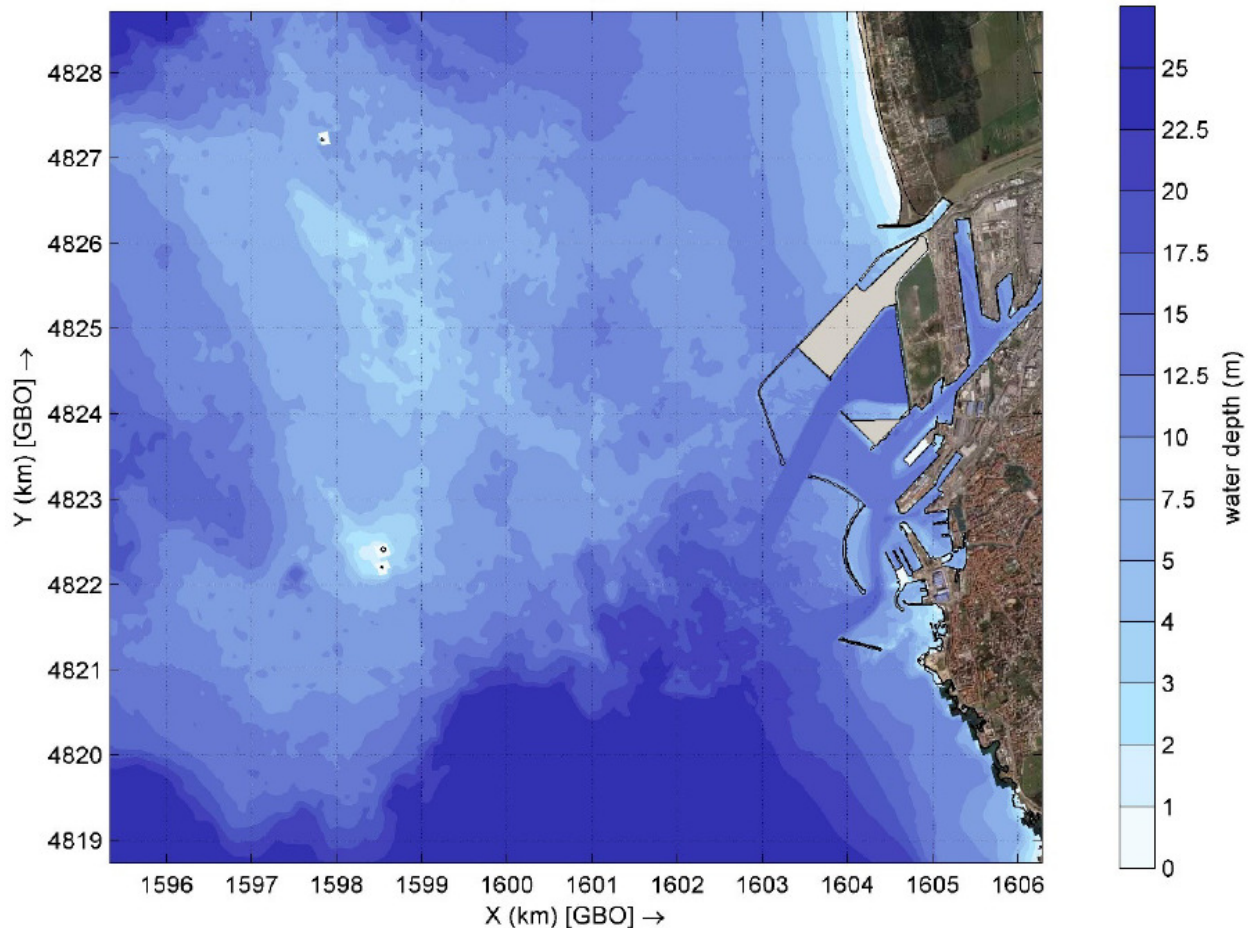


Figure 5: Bathymetry for new port layout hydraulic modelling and fast-time navigation simulations (F&M, 2019b)

2.3.2 Water Levels

In this region tidal range rarely exceeds 0.3m, with mean spring range approximately 0.2m and mean neap range about 0.1m. However, winds from the south can result in increased water levels (surge) up to approximately 0.9m above tidal level (UKHO, 2018).

For fast-time navigation simulations, a water level of +1.6m has been assumed, i.e. artificially high to provide a water depth in the navigation channel that matches the calibrated water depth for the vessel model (as noted in section 2.2.1 and 3.4.1).

2.3.3 Wind

Prevailing winds are typically onshore and are seasonal, as follows (UKHO, 2018):

- W and NW during the summer
- SE and SW during the winter

In strong SE or SW winds, the existing port entrances are dangerous (UKHO, 2018). In addition to the above, wind distribution plots (**Figure 6**) indicate prevailing winds from the NE.

The numerical modelling results and analysis provided in **Table 2** are based on wind speeds up to a maximum of 12.2m/s (approximately 25kn or Beaufort 6) from 250°N. For navigation assessment, prevailing wind conditions from all directions will be considered, i.e. including wind from SE (i.e. crosswind with respect to the navigation channel). Navigation simulations will be conducted for conditions considered to be limiting or significant. Mean wind speeds up to 22-27 knots (Beaufort 6) will be considered based on Neri (2019b) and **Figure 7**, which provides data from Pisa (approximately 25km NNE of Livorno) and indicates that wind speeds are typically below Beaufort 7.

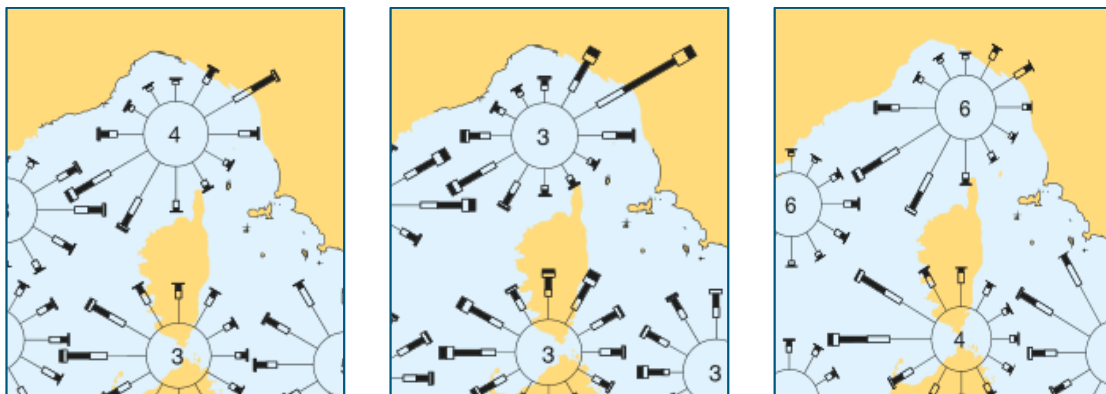
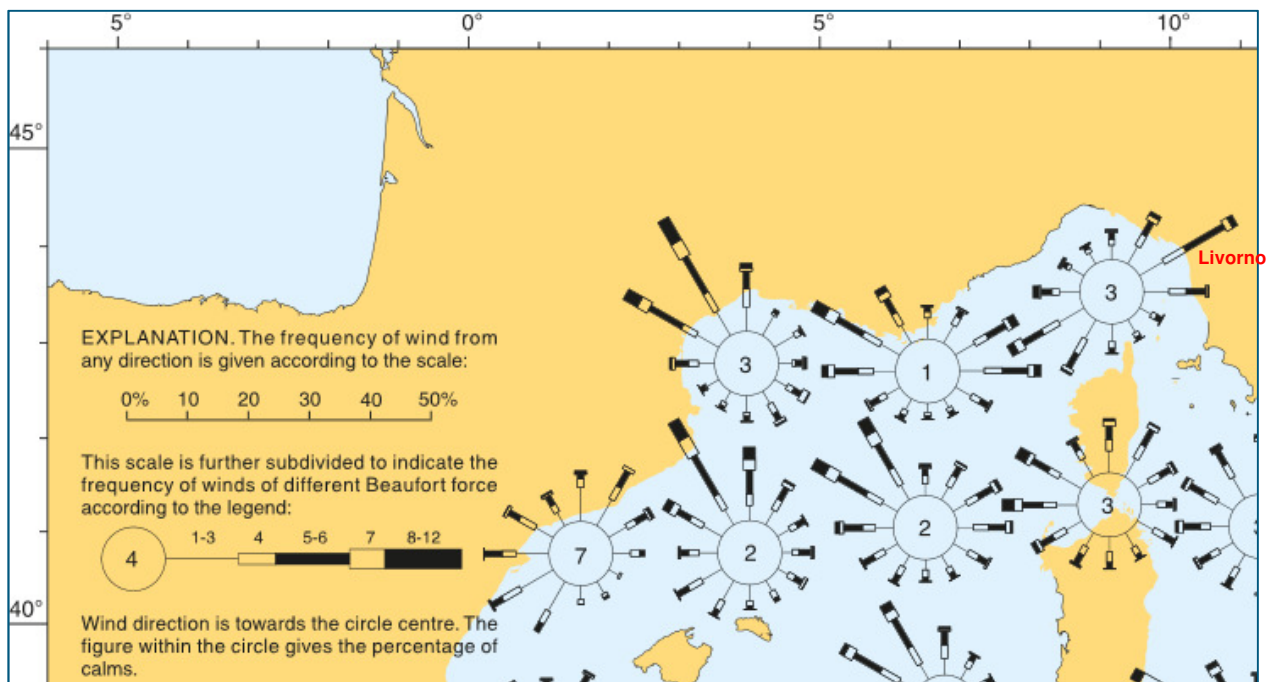


Figure 6: Wind distribution for Feb, May, August and Nov (UKHO, 2018)

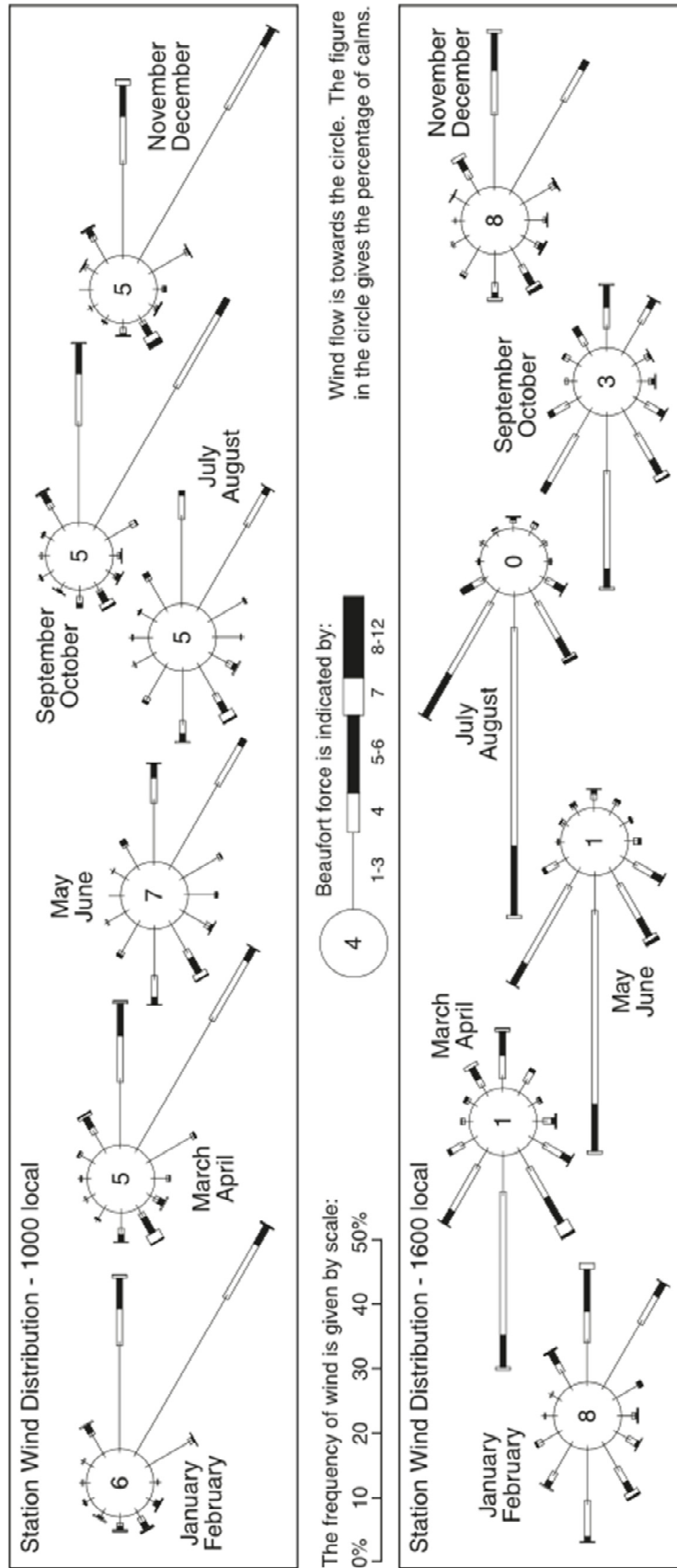


Figure 7: Station wind distribution for WMO No 16158 Pisa (Giusto) 43°41'N 10°24'E (UKHO, 2018)

2.3.4 Waves

Swell distribution plots from the UKHO (2018) indicate that swell waves are predominantly generated from the west and south-west. This agrees with numerical modelling results (F&M, 2019b) provided in **Table 2** and **Figure 9** to **Figure 11** (i.e. corresponding to three environmental conditions noted in Section 3.3), and these wave modelling results are used as input to the fast-time navigation simulations.

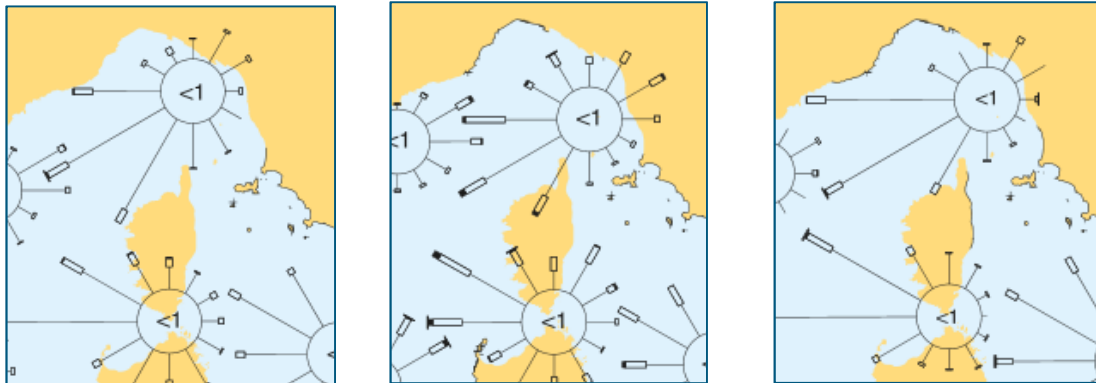
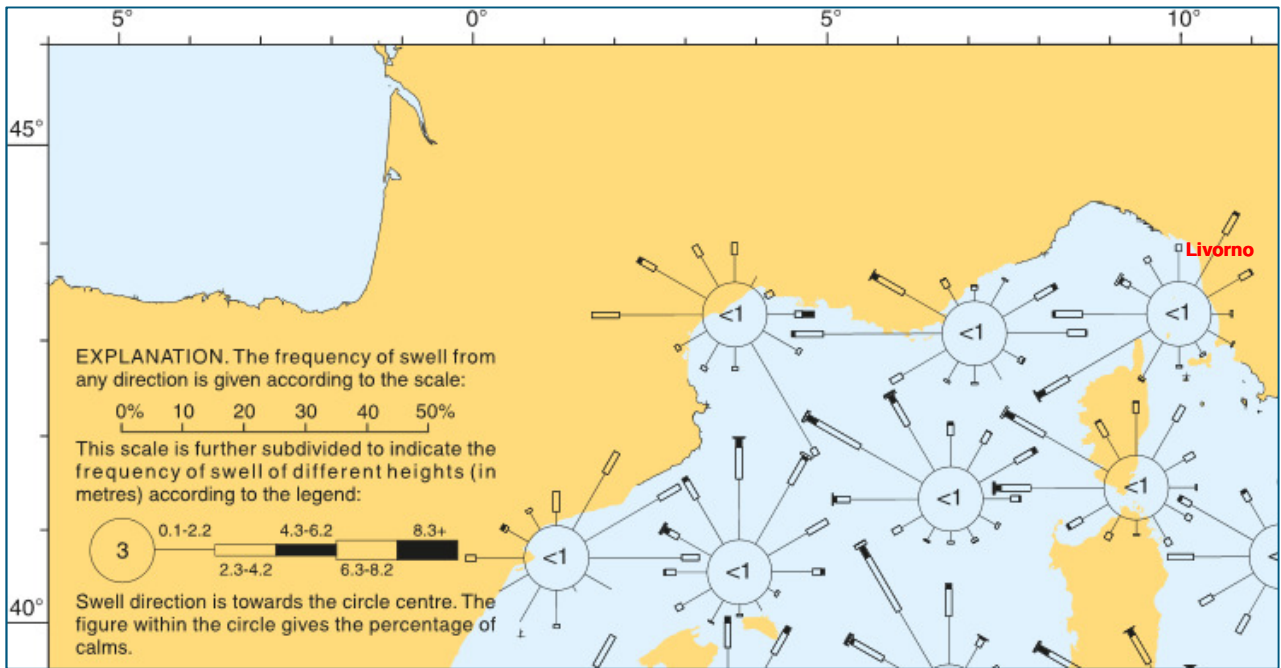


Figure 8: Swell distribution for February, May, August and November (UKHO, 2018)

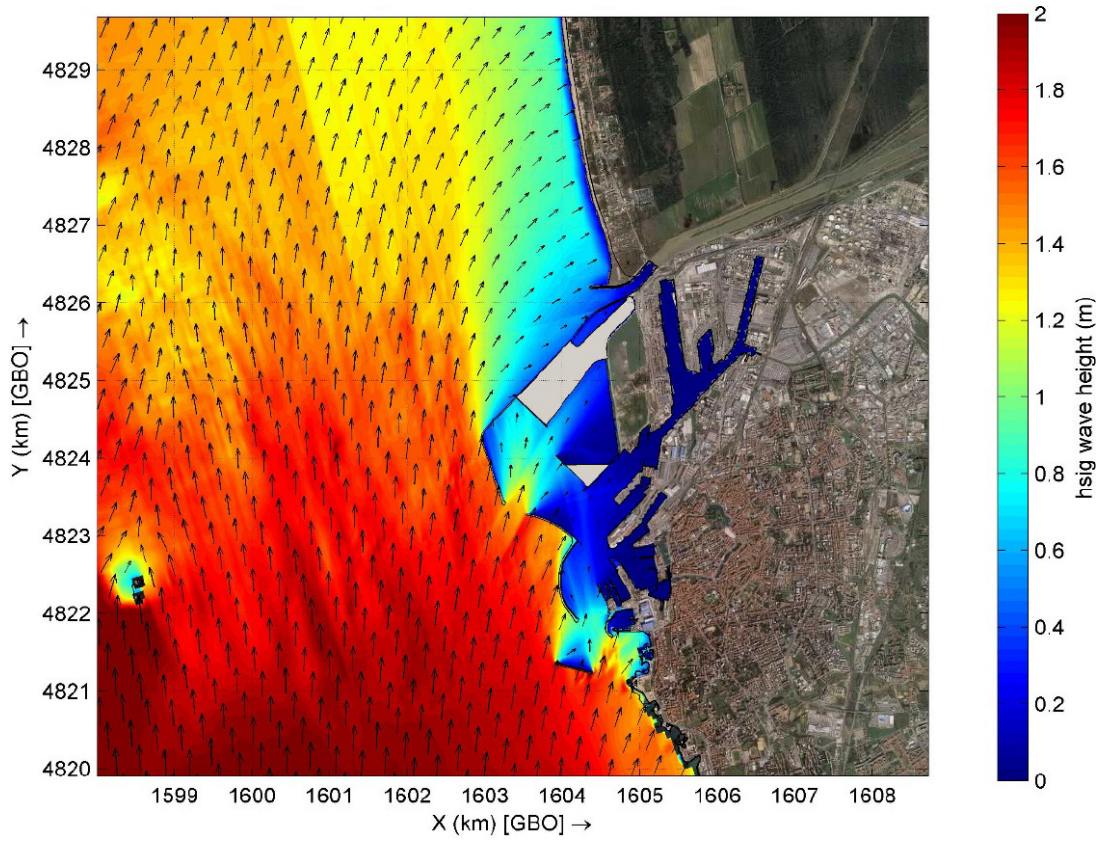


Figure 9: Significant wave height, condition reference 1 (F&M, 2019b)

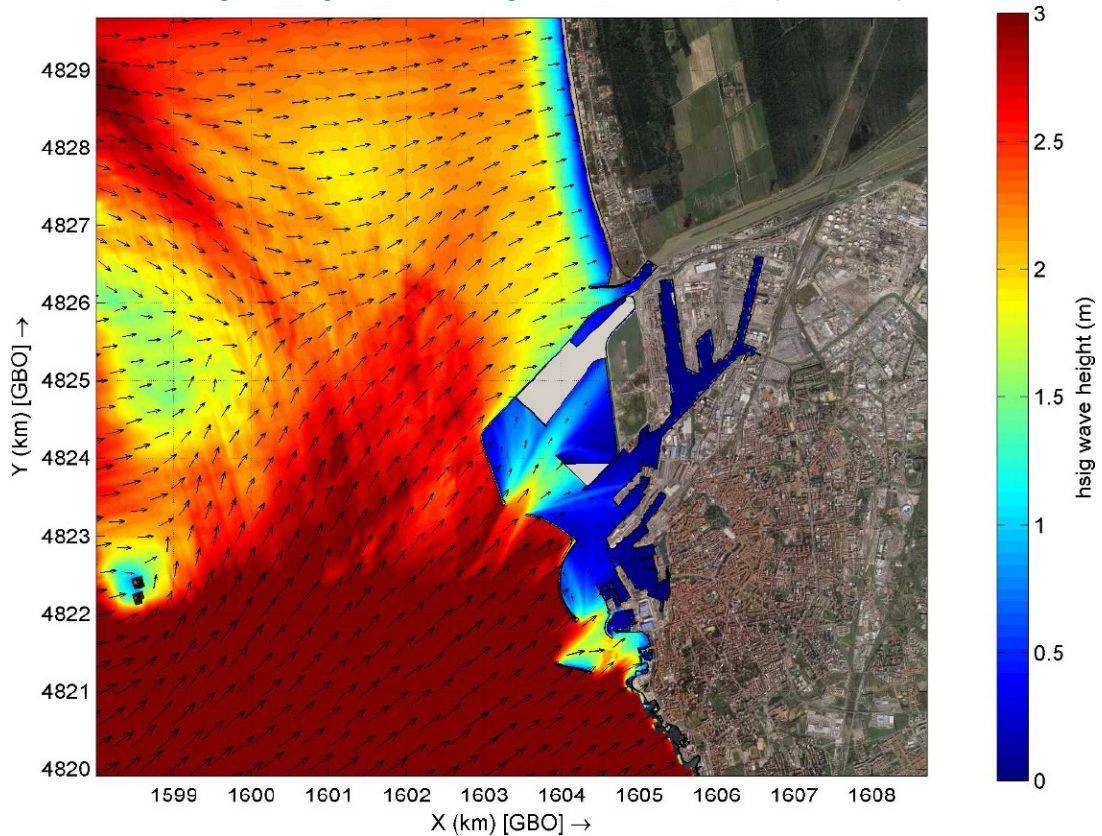


Figure 10: Significant wave height, condition reference 2 (F&M, 2019b)

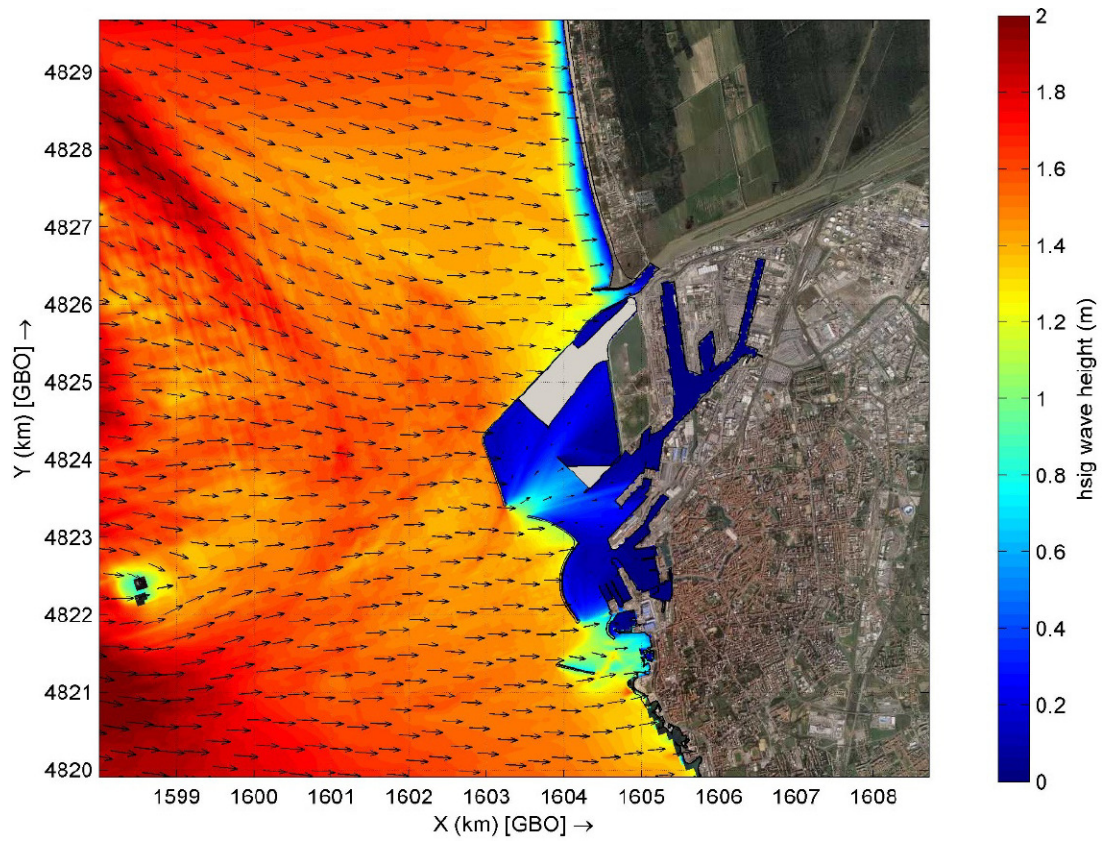


Figure 11: Significant wave height, condition reference 3 (F&M, 2019b)

2.3.5 Current

An overview of tidal current vectors is provided in **Figure 12**. Near to Livorno, during summer a current with mean rate 0.25 knots to the South develops and may increase to 1.5kn with a prevailing wind from the West; however, with prevailing wind from the South a Northerly directed current develops (UKHO).

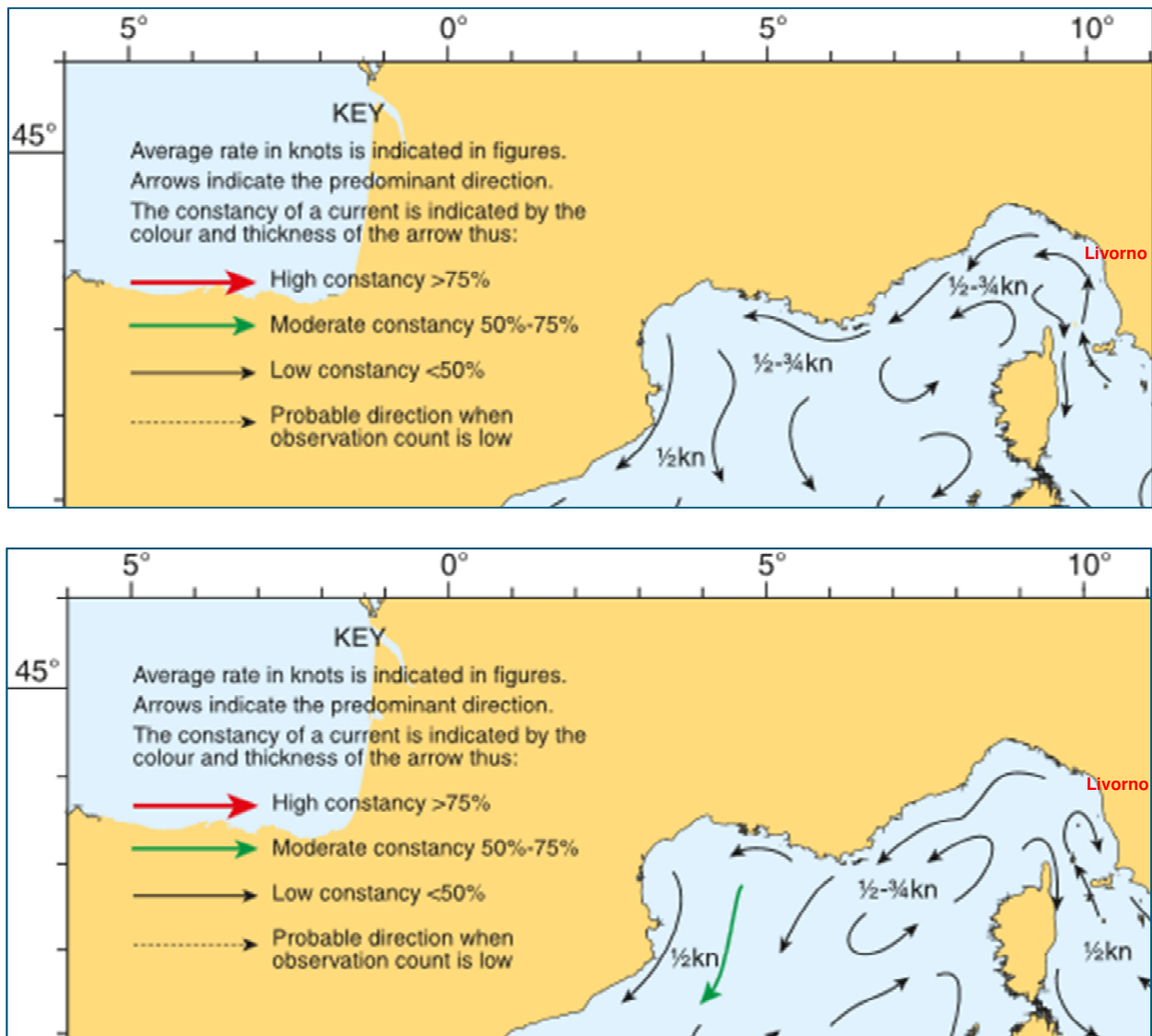


Figure 12: Surface currents for January and July (UKHO, 2018)

Currents will be considered based on numerical modelling results and analysis by F&M (2019b), which broadly agree with UKHO (2019) and are presented in **Figure 13** to **Figure 15** for the three environmental conditions (refer to Section 3.3). These current modelling results are used as input to the fast-time navigation simulations, and comprise the following approximate current velocities in the outer navigation channel, with direction indicated relative to the channel:

- 1 0.1kn transverse current
- 2 0.5kn longitudinal and 0.6kn transverse current (i.e. 0.8kn total current speed)
- 3 0.2kn longitudinal and 0.2kn transverse current (i.e. 0.3kn total current speed)

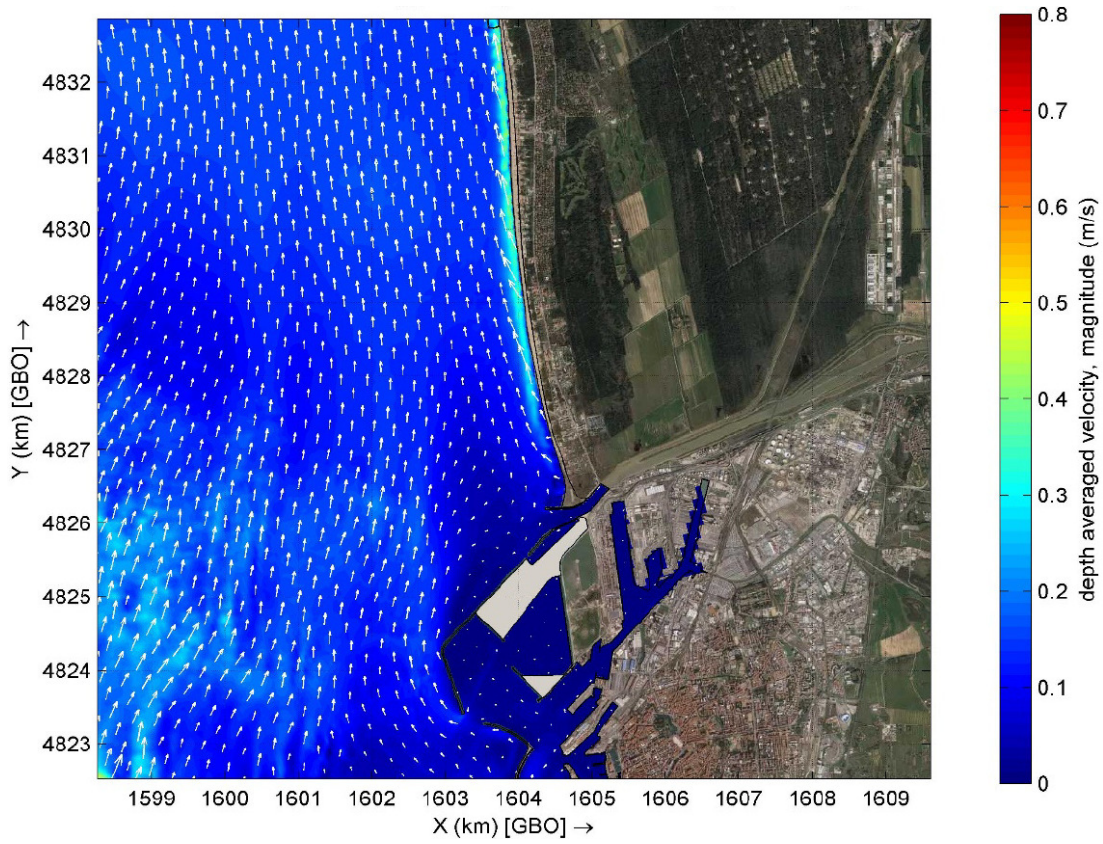


Figure 13: Current velocity, condition reference 1 (F&M, 2019b)

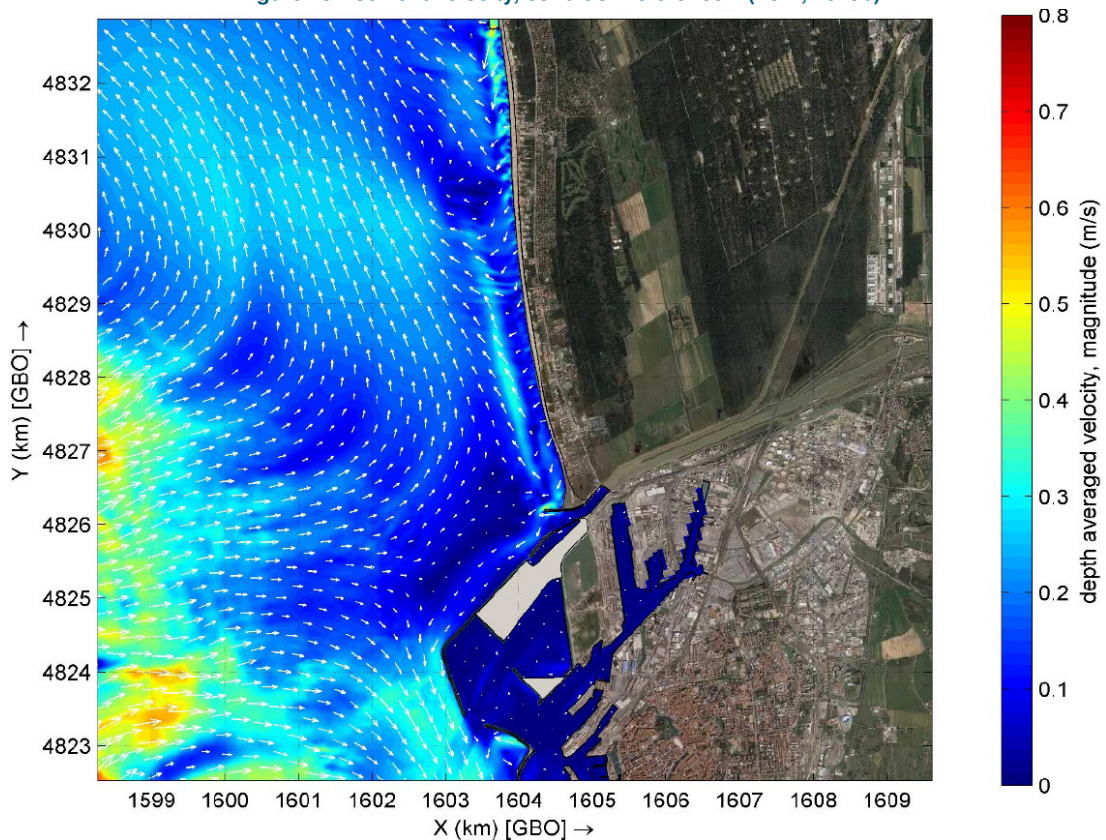


Figure 14: Current velocity, condition reference 2 (F&M, 2019b)

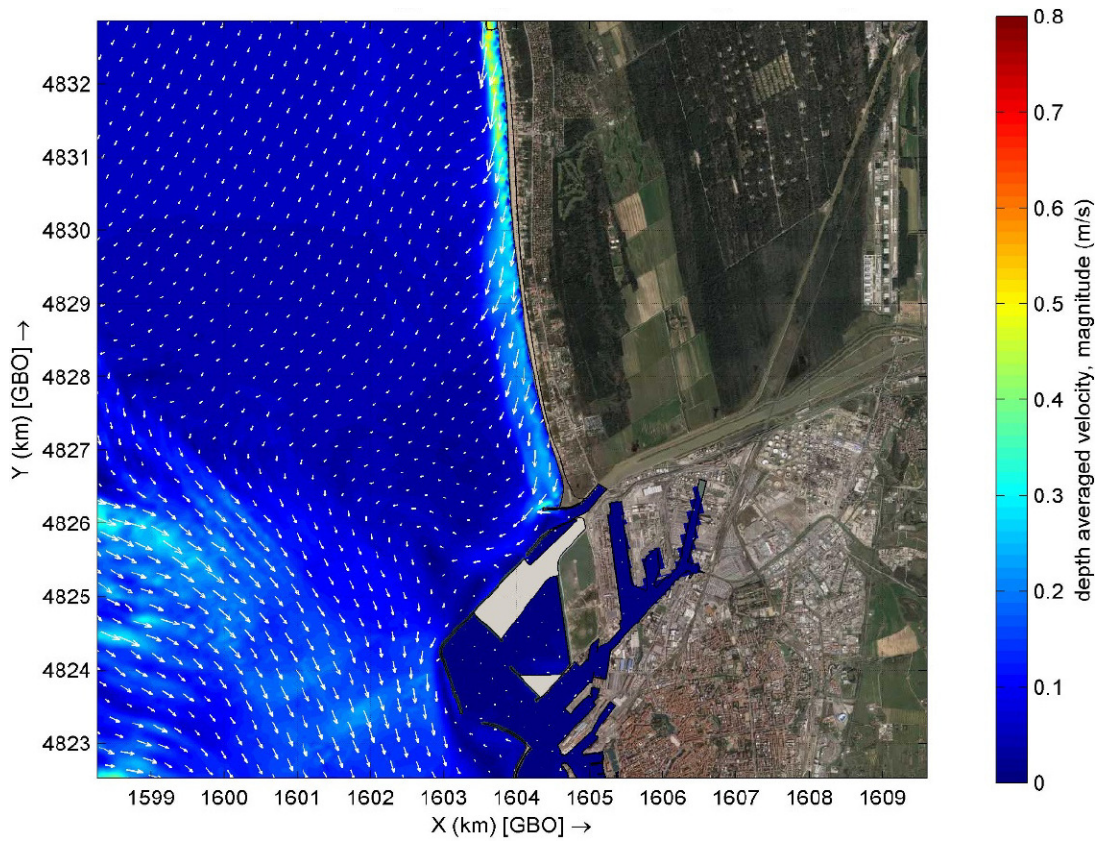


Figure 15: Current velocity, condition reference 3 (F&M, 2019b)

3 Assessment

3.1 Methodology

The assessment is principally based on:

- Consideration of the lateral dimensions of the channel and manoeuvring areas in relation to the design vessel plan dimensions;
- Estimation of lateral forces due to wind and current and comparison to design vessel thruster power.
- Fast-time navigation simulations.

Guidance has been taken from the following industry standards and relevant publications:

- PIANC (2014) for channel design dimensions;
- PIANC (2014), Thoresen (2003) and ROM (1999) for dimensions of vessel manoeuvring areas;
- Hensen (2003) for estimation of lateral forces due to wind.

3.2 Channel Width

Channel width has been assessed in accordance with PIANC (2014) for navigation of the CON052 vessel, with the following summary for the principal features / locations of interest:

Table 3: Channel width preliminary assessment

Channel location	Minimum width (m)	Notes
Outer channel	270	Outside the port entrance
Outer port entrance	290	Between breakwater roundheads
Inner port entrance	215	Between the second set of breakwater roundheads (on arrival)

The design channel width is 250m, which is lower than the minimum width estimated above. However, this estimate is subject to confirmation through the navigation simulations as noted below.

3.3 Turning Area

Turning area dimensions are assessed based on PIANC (2014), Thoresen (2014) and ROM (1999), which recommend a minimum turning circle diameter of the order of 2 times the length of the ship (i.e. LOA). Where main propeller, rudder and bow thrusters are used, 1.5 times LOA is suggested by Thoresen (2014). The design inner turning circle diameter is 600m, i.e. equal to 1.5 times LOA for the CON052, and will be subject to confirmation during navigation simulations.

3.4 External Loads

Estimates of external loads are based on the recommendations of Hensen (2003), providing estimated side thruster (e.g. bow thruster or tug) power requirements and including a safety margin to allow for acceptable wear and tear. These estimates can be used to assess the navigation simulations, e.g. during model calibration and interpretation of results.

3.4.1 Wind

From Hensen (2003), the perpendicular wind load on the vessel can be calculated by:

$$F_{y,wind} = 0.5 \times C_y \times \rho_{air} \times V_{wind}^2 \times A_L$$

where:

C_y =	lateral force coefficient (~1.0 for crosswind / beam wind)
ρ_{air} =	air density (1.28kg/m ³)
V_{wind} =	wind velocity in m/s
A_L =	vessel longitudinal (broadside) wind area in m ²

Perpendicular wind load for the CON052 vessel model is provided in Figure 16 below, i.e. the total side thruster force necessary to hold the ship with wind acting perpendicular to the centreline (i.e. on the beam).

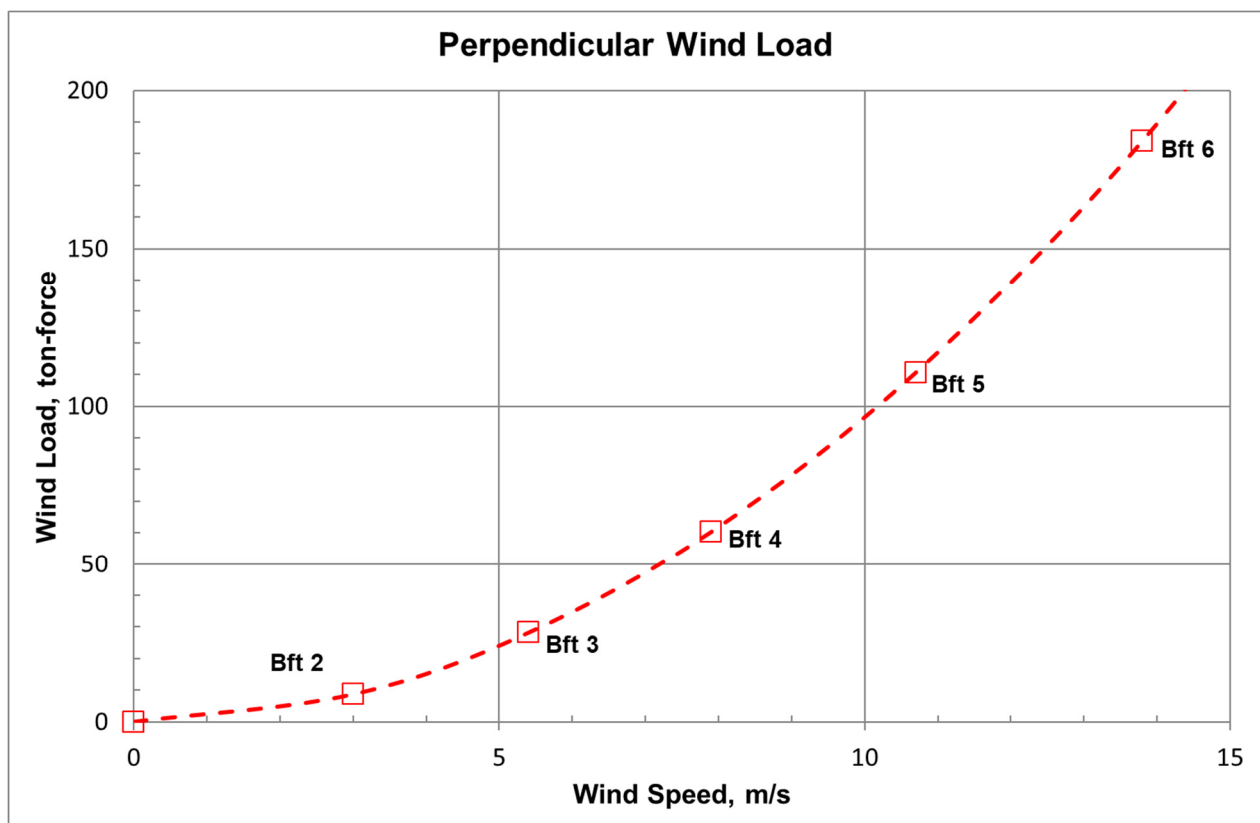


Figure 16: Perpendicular wind load for CON052

3.4.2 Current

From Hensen (2003), the perpendicular current load on the vessel can be calculated by:

$$F_{y,current} = 0.5 \times C_y \times \rho_{water} \times V_{current}^2 \times L_{bp} \times T$$

where:

- C_y = lateral force coefficient (~2.9 for UKC = $0.1 \times T$)
- ρ_{water} = water density (1,023kg/m³)
- $V_{current}$ = current velocity in m/s
- L_{bp} = vessel length between perpendiculars in m
- T = vessel draught in m

Perpendicular current load for the CON052 vessel model is provided in Figure 17 below, i.e. the total side thruster force necessary to hold the ship with current acting perpendicular to the centreline (i.e. on the beam).

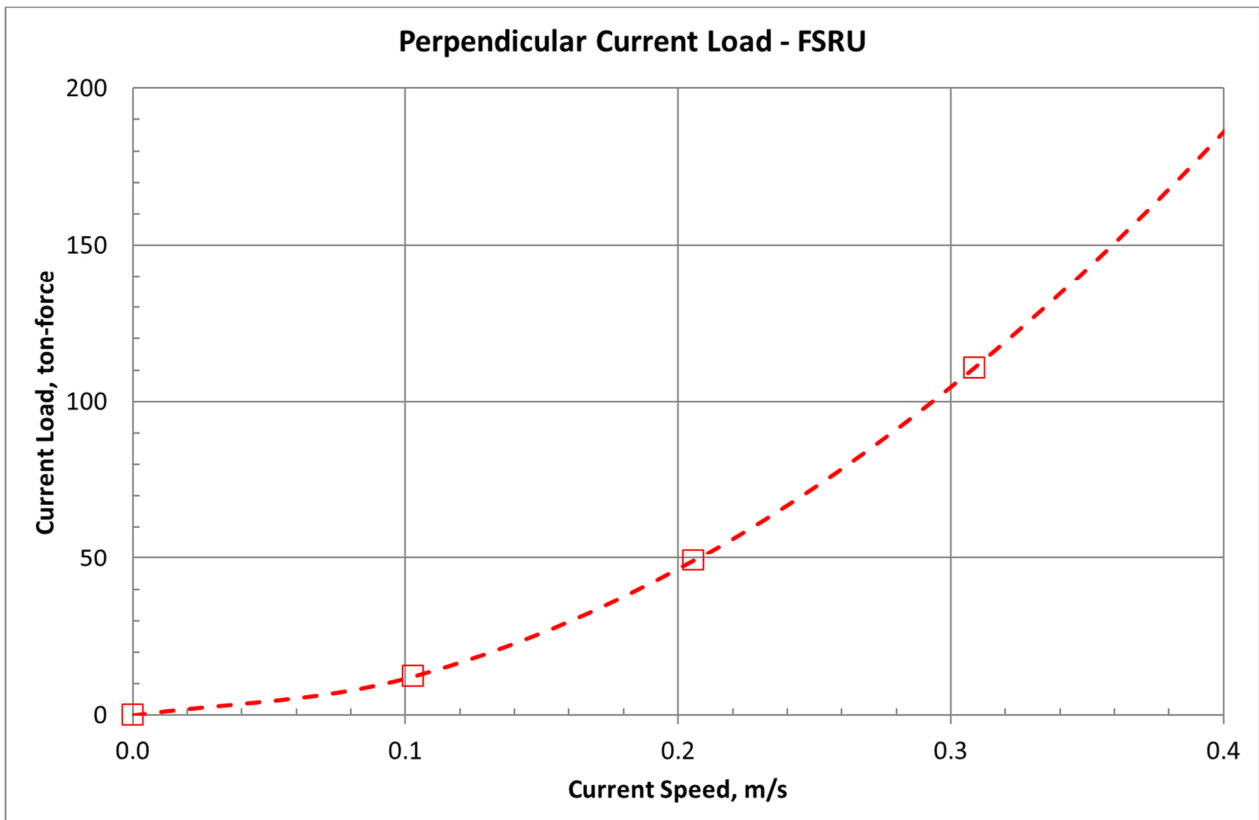


Figure 17: Perpendicular current load for CON052

3.4.3 Side Thruster Capacity

From Thoresen (2014), side thruster capacity may be converted from units of kW to approximate force in tonnes as follows:

$$\begin{aligned} 120\text{hp} &= 1 \text{ tonne force} \\ 1\text{hp} &= 0.75\text{kW} \\ 1 \text{ tonne force} &= 90\text{kW} \end{aligned}$$

For this study, based on available side propulsion for the design vessels, maximum side thrust may be estimated as:

$$\begin{aligned} \text{Bow Thruster: } & 2 \times 2,500\text{kW} && = 5,000\text{kW} \\ & 5,000\text{kW} / (90\text{kW} / \text{tonne force}) && = 55 \text{ tonnes force} \\ \text{Stern Thruster: } & \text{None} \end{aligned}$$

As stern thrusters are not present, balanced force at bow and stern of vessel is not possible through use of side thrusters alone. However, use of main propulsion, rudder and/or tugs could be combined to resist external loads, e.g. up to a maximum of 110 tonnes force if a balanced force of 55 tonnes lateral force can be applied at the stern (e.g. using a tug with bollard pull greater than 55 tonnes).

3.4.4 Summary

Based on the above estimates of external loads and thruster capacity, the design vessel should be capable of resisting external loads with the following tug assistance:

Table 4: External load estimates and preliminary tug requirements

Lateral Wind or Current	Lateral Force (tonnes)	Bow tug	Stern tug
Bft 5 wind speed (19kn) or 0.6kn current	110	1No. 55 tonne bollard pull tug (or bow thrusters)	1No. 55 tonne bollard pull tug
Bft 6 wind speed (25kn)	190	2No. 55 tonne bollard pull tugs	2No. 55 tonne bollard pull tugs

The above results:

- Assume a low vessel speed, i.e. to ensure that tugs and / or side thrusters are effective; and
- Do not allow for such aspects as human factors, e.g. actual response time to changing conditions such as wind gusts (which may be critical for storm conditions) and changes in wind or current direction.

3.5 Fast-Time Simulations

Fast-time vessel navigation simulations have been conducted using Shipma 7.0 software (Marin, 2013).

3.5.1 Assumptions

The fast-time simulations were executed based on the following assumptions:

- The vessel model used for simulation was the CON052 vessel model, which provides a moderate performance with respect to ship manoeuvrability but will not be standard for other types of vessels or vessels with different dimensions.
- Water depth in the new approach channel was 17.6 metres (i.e. -16m MSL dredge level with water level at +1.6m). This water depth corresponds to the lowest water depth for which the CON052 vessel model has been calibrated.
- Depending on the environmental conditions considered, vessel propeller revolutions for arrival scenarios are varied to ensure final vessel position in the turning circle, e.g. according to the telegraph settings:
 - 30rpm / 9.5kn slow
 - 18rpm / 5.7kn dead slow;
- Tug use was considered as per the following options, based on vessel location and manoeuvre:
 - Arrivals:
 - Outer channel (i.e. seaward of the outer breakwater entrance):
 - No tug assistance
 - 1No. ASD stern tug, with 70T bollard pull
 - 2No. ASD stern tugs, all with 70T bollard pull each
 - Inner channel (i.e. landward of the outer breakwater entrance):
 - No tug assistance
 - 1No. ASD stern tug, with 70T bollard pull
 - 1No. ASD stern tug and 1No. ASD bow tug, all with 70T bollard pull
 - 2No. ASD stern tugs and 2No. ASD bow tugs, all with 70T bollard pull
 - Departures:
 - Inner channel (i.e. landward of the outer breakwater entrance):
 - 1No. ASD stern tug, with 70T bollard pull
 - 1No. ASD stern tug and 1No. ASD bow tug, all with 70T bollard pull
 - 2No. ASD stern tugs and 2No. ASD bow tugs, all with 70T bollard pull
 - Outer channel (i.e. seaward of the outer breakwater entrance):
 - No tug assistance
 - 1No. ASD stern tug, with 70T bollard pull
 - 2No. ASD stern tugs, all with 70T bollard pull each
- During simulations the following limitations were imposed on vessel manoeuvrability (refer Appendix A1) to keep a safety margin for unexpected situations and less perfectly performed manoeuvres:
 - rudder was limited to 70% of the maximum rudder angle (i.e. limit of 25 degrees for a maximum rudder angle of 35 degrees)
 - thrusters were limited to 70% of the maximum power capacity (2 x 2,500kW bow thrusters)
 - tugs were limited to 70% of the maximum power capacity
- Arrival simulations are considered complete when the vessel is stopped in the inner turning circle.

- Departure simulations are considered complete when the vessel reaches the outer channel.
- Environmental conditions were as follows (refer to Section 2.3):

Table 5: Environmental conditions for fast-time simulations

Condition Reference	Wind*	Wave**	Current***
1	25kn, from 170°N	from 170°N	0.1kn transverse current
2	25kn, from 250°N	from 250°N	0.5kn longitudinal and 0.6kn transverse current
3	25kn, from 290°N	from 290°N	0.2kn longitudinal and 0.2kn transverse current
4****	25kn, from 120°N	None	none

- Note:
- * wind speeds are constant throughout the model domain
 - ** refer to **Table 2** for wave height and period
 - *** current speed is indicated in knots (kn), with 1kn approximately equal to 0.5m/s
longitudinal and transverse current directions are with respect to the channel centreline
 - **** condition reference 4 simulates a crosswind from ESE. Wave and current are not included as these forces would act opposite the ESE wind and reduce overall vessel load.

3.5.2 Runs

Below is the list of fast-time simulation runs, including results of required tug assistance for successful simulations, principally defined by:

- Final vessel position in turning circle (arrivals) or outer channel (departures); and
- Adequate margin / clearance between vessel and structures.

Example plots from simulation runs are provided in Appendix A2.

Table 6: Summary of fast-time navigation simulation runs and results

Ref	Arrival / Departure	Wind	Wave & current condition*	Tug**	Notes
A01 to A11	Arrival	various	various	None or 1 x stern	Trial runs to assess effects of environmental conditions and verify / validate the model
A12	Arrival	170 °N at 25kn	Condition Ref 1 (170 °N)	1 x stern	1No. tug is required to maintain course while reducing speed inside the port
A13	Arrival	250 °N at 25kn	Condition Ref 2 (250 °N)	2 x stern 2 x bow	Tugs required to avoid course deviation and contact with inner breakwaters
A14	Arrival	290 °N at 25kn	Condition Ref 3 (290 °N)	1 x stern	1No. tug is required to maintain course while completing turn between inner breakwaters
A15	Arrival	120 °N at 25kn	Condition Ref 4 None	1 x stern	1No. tug is required to maintain course while reducing speed inside the port
D12	Departure	170 °N at 25kn	Condition Ref 1 (170 °N)	2 x stern 2 x bow	Tugs required to assist vessel to outer channel as vessel speed increases
D13	Departure	250 °N at 25kn	Condition Ref 2 (250 °N)	2 x stern 2 x bow	Tugs required to assist vessel to outer channel as vessel speed increases Vessel track moved to starboard to increase clearance to outer breakwaters
D14	Departure	290 °N at 25kn	Condition Ref 3 (290 °N)	2 x stern 2 x bow	Tugs required to assist vessel to outer channel as vessel speed increases Vessel track moved to starboard to increase clearance to outer breakwaters
D15	Departure	120 °N at 25kn	Condition Ref 4 None	2 x stern 2 x bow	Tugs required to assist vessel to outer channel as vessel speed increases

Note: * Refer to **Table 5** for environmental conditions

** All tugs are 70 tonne bollard pull ASD type, with assumed configurations as per Section 3.4.1.

3.5.3 Summary

Based on the fast time manoeuvring simulations (refer to examples in Appendix A2), it is concluded that under the simulated conditions the CON052 should be able to pass safely from sea to the container quay. The same is valid for the departure to sea including the turn in the manoeuvring area.

For the arrival scenarios 1No. tug at the stern is required to assist, with the exception of environmental condition reference 1 (wind from 250°N), which requires assistance from 2No. stern tugs and 2No. bow tugs to ensure adequate clearance between the vessel and port structures. For all the departure scenarios, 2No. stern tugs and 2No. bow tugs are required to ensure adequate clearance between the vessel and port structures before the vessel enters the outer channel.

Given the restrictions on rudder, thruster and tug use noted in Section 3.4.1, it is concluded that with 30% reserve capacity there is sufficient safety margin in the controllability of the vessel.

In the new approach channel when not using the tugs the crosswind does result in large vessel drift angles widening the vessel manoeuvring path to 2–3 times the beam of the vessel, and tug use is required to reduce the drift angle. Without tugs, the vessel is not able to safely use the new approach channel with the simulated wind, wave and current conditions.

4 Conclusion

4.1 Summary

Based on PIANC (2014), estimated navigation channel minimum width is marginally larger than the present design dimensions. In addition, turning area dimensions are potentially adequate based on Thoresen (2014) and ROM (1999). Wind and current load estimates based on Hensen (2003) indicate that 4No. tugs with 55 tonne bollard pull should be adequate to control the design vessel, i.e. based on a static vessel and not considering wave loads.

The above has been confirmed through fast-time navigation simulations, which have included effects of wind, current and wave forces. The simulation results indicate that the design vessel can arrive and depart using the new navigation channel with the assistance of 4No. 70 tonne bollard pull tugs, i.e. 2No. stern tugs and 2No. bow tugs.

4.2 Recommendations

The following should be considered in further stages of design development and operational training:

- Review by a master / pilot with experience on the particular vessel;
- Real time simulations to:
 - Confirm the design and to involve the role of the human operator into the manoeuvring process;
 - Let pilots and masters familiarise themselves with the vessel and the situation on a real time bridge simulator.
 - Assess tug use and practical application, e.g. to ensure tugs can apply adequate power near to structures, through the port entrance (close to the breakwater roundheads) and in the turning area.
- Arrangement of Aids to Navigation including:
 - Floating buoys to indicate relevant points of interest for navigation / manoeuvring;
 - Use of leading lines through narrow passages;
- Further navigation studies and simulations to assess:
 - Limiting environmental conditions (e.g. wind and wave) for which fewer tugs may be acceptable.
 - Potential for two-way traffic in the channel, e.g. for smaller vessels and in appropriate environmental conditions.
 - Navigation requirements appropriate for other vessels using the channel, e.g. RoRo, smaller container vessels and bulk carriers, including tug assistance and environmental limitations.

5 References

F&M (2019a) meeting with Coat Guard, 24Oct2019.

F&M (2019b) Progettazione Preliminare e Definitiva Delle Opere Marittime di Difesa e dei Dragaggi Previsti Nella Nuova Prima Fase di Attuazione Della Piattaforma Europa, Compreso lo Studio di Impatto Ambientale e la Valutazione di Incidenza Ambientale, Progetto Preliminare, Z - Documenti di Supporto, Studio Della Dinamica Litoranea, 26 Agosto 2019, file: 1233_PP-Z-008_0.doc, J.N.: 1233/19

Marin 2013 SHIPMA 7.0, User's Guide.

Neri (2019a) <https://www.nerigroup.net/fleet/tugboats/>

Neri (2019b) meeting with HS marine, 16Oct2019.

PIANC (Permanent International Association of Navigation Congresses) (1997) Approach Channels, A Guide for Design, Report of Working Group II-30, Supplement to Bulletin No. 95, June 1997.

ROM 3.1-1999 Recommendations for Design of the Maritime Configuration of Ports, Approach Channels and Harbour Basins

RINA (Royal Institution of Naval Architects) (2013) Significant Ships

Thoresen CA (2014) Port Designer's Handbook: Recommendations and Guidelines.

UKHO (2018) NP46, Admiralty Sailing Directions, Mediterranean Pilot Volume 2.

A1 Vessel Model

Ship's description

con052r2

CONTAINER VESSEL

Loa (Lpp) x B x T =

400.00 (383.70) x 59.00 x 16.00 m3

September 2014

Project number: 27500.770

Ship's description: con052r2

Contents

Part A GENERAL DATA

1. Ship's dimensions and data
2. Wind coefficients
3. Wave coefficients
4. Ship information sheet

Part B RESULTS OF MANOEUVRING TESTS, TABLES AND PLOTS

Waterdepth 1 = 17.6 m

- 1.1 Turning circle test; d=20 deg
- 1.2 Turning circle test; d=35 deg
- 1.3 Zig Zag test 20/20
- 1.4 Stopping manoeuvre
- 1.5 Acceleration test

Waterdepth 2 = 19.2 m

- 2.1 Turning circle test; d=20 deg
- 2.2 Turning circle test; d=35 deg
- 2.3 Zig Zag test 20/20
- 2.4 Stopping manoeuvre
- 2.5 Acceleration test

A. GENERAL DATA

con052r2

1. Ship's dimensions and data

Ship's type	-	CONTAINER VESSEL
Length over all	[m]	400.00
Length between perpendiculars	[m]	383.70
Beam	[m]	59.00
Depth	[m]	30.20
Draught amid ship's	[m]	16.00
Draught forward	[m]	16.00
Draught after	[m]	16.00
Displacement	[tons]	259900
Dead weight tonnage (fully loaded)	[tons]	196000
Maximum draught (fully loaded)	[m]	16.00
Engine type	[-]	Diesel
Power	[kW]	2x29680
Number of revolutions	[rpm]	73
Service speed	[kn]	23.1
Number of propellers	[-]	2
Diameter of propellers	[m]	9.65
Pitch ratio	[-]	1.04
Number of rudders	[-]	2
Frontal wind area	[m2]	2938
Lateral wind area	[m2]	14813
Bow Thruster	[kW]	2x2500
Stern Thruster	[kW]	-

2. WindCoefficients

```
**      Windangles :WALFA   [deg]
**
      0      10      20      30      40      50      60      70
      80      90      100     110     120     130     140     150
      160     170     180
**
**      record              6
**
**      X-coefficient :      CXW      [-]
**
      0.4265   0.5489   0.5938   0.6261   0.5924   0.5561   0.4178   0.2221
      0.0708  -0.0629  -0.1148  -0.2366  -0.3073  -0.4183  -0.4890  -0.5326
      -0.4985  -0.4703  -0.4774
**
**      Y-coefficient :      CYW      [-]
**
      0.0000   0.1158   0.2813   0.4694   0.6255   0.7055   0.7715   0.8150
      0.8413   0.8579   0.8594   0.8618   0.8493   0.7819   0.6578   0.4811
      0.2942   0.1198   0.0000
**
**      N-coefficient :      CNW      [-]
**
      0.0000  -0.0347  -0.0676  -0.0909  -0.1041  -0.0931  -0.0748  -0.0557
      -0.0349  -0.0124  0.0160   0.0296   0.0460   0.0640   0.0632   0.0550
      0.0450   0.0270   0.0000
**
**
```


3. Wave Coefficients

The wave coefficients have been calculated with the MARIN program DBSHIP.

All computations have been made assuming a JONSWAP wave spectrum and a water depth of 20 m.

Tp=8 s

Tp=10 s

Alfa [deg]	X-Force [N]	Y-Force [N]	Moment [Nm]	X-Force [N]	Y-Force [N]	Moment [Nm]
0	7.1000E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	8.7000E+03	0.0000E+00	0.0000E+00
10	7.8000E+03	9.2000E+03	-4.6100E+04	9.3000E+03	1.4600E+04	-2.6130E+05
20	7.8000E+03	2.2700E+04	-1.2340E+05	9.6000E+03	3.4300E+04	-5.6340E+05
30	6.9000E+03	4.0900E+04	-2.5160E+05	9.0000E+03	5.9700E+04	-8.0170E+05
40	5.6000E+03	6.2900E+04	-3.8450E+05	8.8000E+03	8.9200E+04	-1.2205E+06
50	3.8000E+03	8.9900E+04	-5.0950E+05	9.6000E+03	1.2400E+05	-2.0574E+06
60	2.0000E+03	1.1720E+05	-5.8510E+05	1.0700E+04	1.5830E+05	-3.0181E+06
70	1.7000E+03	1.3680E+05	-5.8980E+05	8.4000E+03	1.7910E+05	-2.8984E+06
80	1.0000E+03	1.4700E+05	-4.9900E+05	4.4000E+03	1.9010E+05	-2.2374E+06
90	-1.0000E+02	1.4790E+05	-3.1290E+05	-1.3000E+03	1.9110E+05	-1.0350E+06
100	-4.5000E+03	1.3360E+05	7.8600E+04	-8.5000E+03	1.8310E+05	6.1360E+05
110	-8.6000E+03	1.1430E+05	4.2480E+05	-1.4500E+04	1.6810E+05	1.9788E+06
120	-9.2000E+03	1.0020E+05	4.0900E+05	-1.4600E+04	1.4780E+05	1.7312E+06
130	-8.7000E+03	8.5100E+04	3.0050E+05	-1.2900E+04	1.2360E+05	1.1080E+06
140	-7.7000E+03	6.5800E+04	1.8610E+05	-1.0700E+04	9.4700E+04	5.4500E+05
150	-7.1000E+03	4.3900E+04	1.4040E+05	-9.5000E+03	6.4800E+04	3.8130E+05
160	-6.4000E+03	2.2800E+04	1.0150E+05	-8.5000E+03	3.6200E+04	2.9400E+05
170	-6.3000E+03	9.1000E+03	5.2200E+04	-8.0000E+03	1.5500E+04	1.4750E+05
180	-6.4000E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	-8.0000E+03	0.0000E+00	0.0000E+00

Tp=12 s

Alfa [deg]	X-Force [N]	Y-Force [N]	Moment [Nm]
0	1.1400E+04	0.0000E+00	0.0000E+00
10	1.2100E+04	1.5500E+04	-3.9260E+05
20	1.2600E+04	3.7000E+04	-7.0120E+05
30	1.2000E+04	6.6300E+04	-4.8690E+05
40	1.2600E+04	9.9300E+04	-7.7400E+05
50	1.6600E+04	1.3580E+05	-2.3359E+06
60	2.1600E+04	1.6970E+05	-4.6086E+06
70	1.6500E+04	1.9230E+05	-4.3714E+06
80	8.2000E+03	2.0420E+05	-3.1344E+06
90	-3.4000E+03	2.0540E+05	-8.9740E+05
100	-1.3700E+04	1.9260E+05	1.6716E+06
110	-2.1600E+04	1.7310E+05	3.6370E+06
120	-2.0900E+04	1.5440E+05	2.6508E+06
130	-1.8000E+04	1.3230E+05	1.1454E+06
140	-1.4700E+04	1.0320E+05	1.2080E+05
150	-1.3300E+04	7.0200E+04	1.3920E+05
160	-1.2300E+04	3.8100E+04	3.8800E+05
170	-1.1500E+04	1.6000E+04	2.5400E+05
180	-1.0900E+04	0.0000E+00	0.0000E+00

4. Ship information Sheet

Principal dimensions		Engine	
Length over all	400.00 m	Type:	Diesel
Beam	59.00 m	Power:	2x29680 kW
Draft fully laden	16.00 m	Max. revs:	73 rpm
Displacement fully laden	259900 tons	Bow Thruster:	2x2500 kW
Dead weight tonnage	196000 tons	Stern Thruster:	- kW

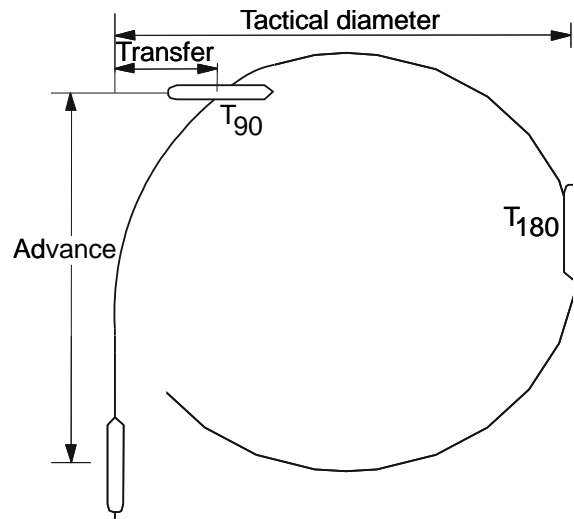
Telegraph Setting	rpm	Speed [kn]	Crash Stop		
			Distance	Stopping Time	
			[mile]	[min]	[sec]
SEA FULL	73	23.1	2.93	13	9
FULL	59	18.6			
HALF	42	13.3			
SLOW	30	9.5			
DEAD SLOW	18	5.7			

Telegraph	Rudder	Advance	Transfer	T90		Tac. Diam.
		[mile]	[mile]	[min]	[sec]	[mile]
SEA FULL	P	0.60	0.26	2	16	0.64
	SB	0.61	0.26	2	20	0.66
HALF	P	0.58	0.26	3	53	0.64
	SB	0.60	0.26	4	0	0.65

WARNING:

The response of this ship may be different from that listed above if any of the following conditions upon which the manoeuvring information is based are varied:

1. Calm weather - wind 8 knots or less, calm sea.
2. No current.
3. Water depth twice vessels draft or greater.
4. Clean hull.
5. Load condition FULL LOAD



1.1 Turning circle test

Waterdepth 1 = 17.60 m

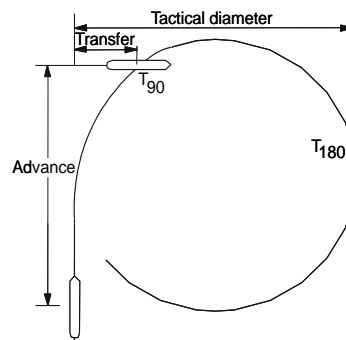
INPUT:

Initial speed	[m/s]	5.11
Number of revolutions	[1/s]	0.7
Rudder angle	[deg]	20

RESULTS:

		Starboard	Port
Advance	[m]	2201	-
Transfer	[m]	1859	-
Tactical diameter	[m]	3804	-
Final diameter	[m]	3759	-
T90	[s]	668	-
T180	[s]	1301	-
T270	[s]	1935	-
T360	[s]	2568	-
uf	[m/s]	4.66	4.66
vf	[m/s]	-0.153	0.153
rf	[deg/s]	0.1421	-0.1421

See also Figure 1.1



1.2 Turning circle test

Waterdepth 1 = 17.60 m

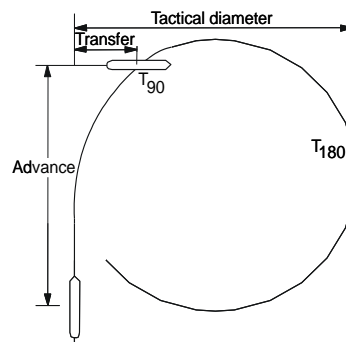
INPUT:

Initial speed	[m/s]	5.11
Number of revolutions	[1/s]	0.7
Rudder angle	[deg]	35

RESULTS:

		Starboard	Port
Advance	[m]	1493	-
Transfer	[m]	1129	-
Tactical diameter	[m]	2318	-
Final diameter	[m]	2203	-
T90	[s]	469	-
T180	[s]	908	-
T270	[s]	1348	-
T360	[s]	1788	-
uf	[m/s]	3.92	3.92
vf	[m/s]	-0.24	0.24
rf	[deg/s]	0.2043	-0.2043

See also Figure 1.2



1.3 Zig/zag test

Waterdepth 1 = 17.60 m

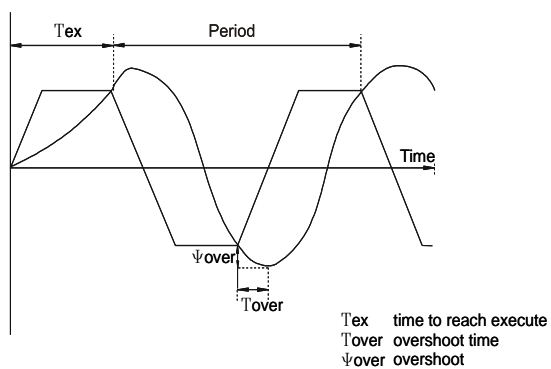
INPUT:

Initial speed	[m/s]	5.11
Number of revolutions	[1/s]	0.7
Rudder angle	[deg]	20/20

RESULTS:

Tex	[s]	177.8
Tovershoot	[s]	33.2
Overshoot angle	[deg]	3.0
Period	[s]	744.8

See also Figure 1.3 and 1.4



1.4 Stopping manoeuvre

Waterdepth 1 = 17.60 m

INPUT:

Initial speed	[m/s]	5.11
Number of revolutions ahead	[1/s]	0.7
Number of revolutions astern	[deg]	-0.7

RESULTS:

Stopping time	[s]	513
Stopping distance	[m]	1387
Heading after stopping	[deg]	0.0
Deviation of track	[m]	0.0

See also Figure 1.5 and 1.6

1.5 Acceleration manoeuvre

Waterdepth 1 = 17.60 m

INPUT:

Initial speed	[m/s]	0.01
Number of revolutions ahead	[1/s]	0.7

RESULTS:

Final speed	[m/s]	5.04
Time to reach this speed	[s]	1328
Distance to reach this speed	[m]	4895

See also Figure 1.7

2.1 Turning circle test

Waterdepth 2 = 19.2 m

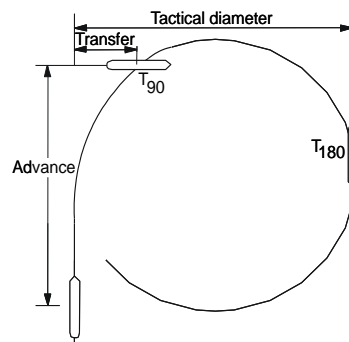
INPUT:

Initial speed	[m/s]	5.76
Number of revolutions	[1/s]	0.7
Rudder angle	[deg]	20

RESULTS:

		Starboard	Port
Advance	[m]	1770	-
Transfer	[m]	1353	-
Tactical diameter	[m]	2850	-
Final diameter	[m]	2753	-
T90	[s]	464	-
T180	[s]	904	-
T270	[s]	1347	-
T360	[s]	1790	-
uf	[m/s]	4.86	4.86
vf	[m/s]	-0.375	0.375
rf	deg/s]	0.2031	-0.2031

See also Figure 2.1



2.2 Turning circle test

Waterdepth 2 = 19.2 m

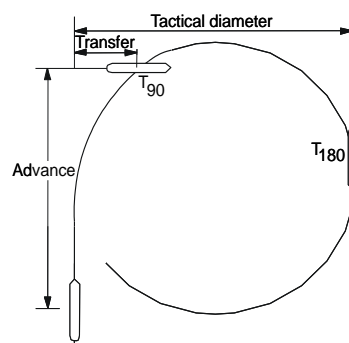
INPUT:

Initial speed	[m/s]	5.76
Number of revolutions	[1/s]	0.7
Rudder angle	[deg]	35

RESULTS:

		Starboard	Port
Advance	[m]	1251	-
Transfer	[m]	833	-
Tactical diameter	[m]	1779	-
Final diameter	[m]	1587	-
T90	[s]	336	-
T180	[s]	658	-
T270	[s]	986	-
T360	[s]	1315	-
uf	[m/s]	3.74	3.74
vf	[m/s]	-0.512	0.512
rf	[deg/s]	0.2728	-0.2728

See also Figure 2.2



2.3 Zig/zag test

Waterdepth 2 = 19.2 m

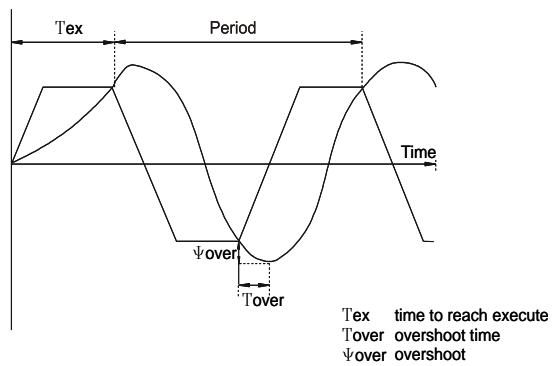
INPUT:

Initial speed	[m/s]	5.76
Number of revolutions	[1/s]	0.7
Rudder angle	[deg]	20/20

RESULTS:

Tex	[s]	127.3
Tovershoot	[s]	32.0
Overshoot angle	[deg]	3.9
Period	[s]	557.9

See also Figure 2.3 and 2.4



2.4 Stopping manoeuvre

Waterdepth 2 = 19.2 m

INPUT:

Initial speed	[m/s]	5.76
Number of revolutions ahead	[1/s]	0.7
Number of revolutions astern	[deg]	-0.7

RESULTS:

Stopping time	[s]	546
Stopping distance	[m]	1675
Heading after stopping	[deg]	0.0
Deviation of track	[m]	0.0

See also Figure 2.5 and 2.6

2.5 Acceleration manoeuvre

Waterdepth 2 = 19.2 m

INPUT:

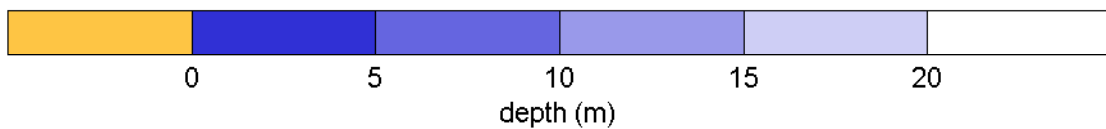
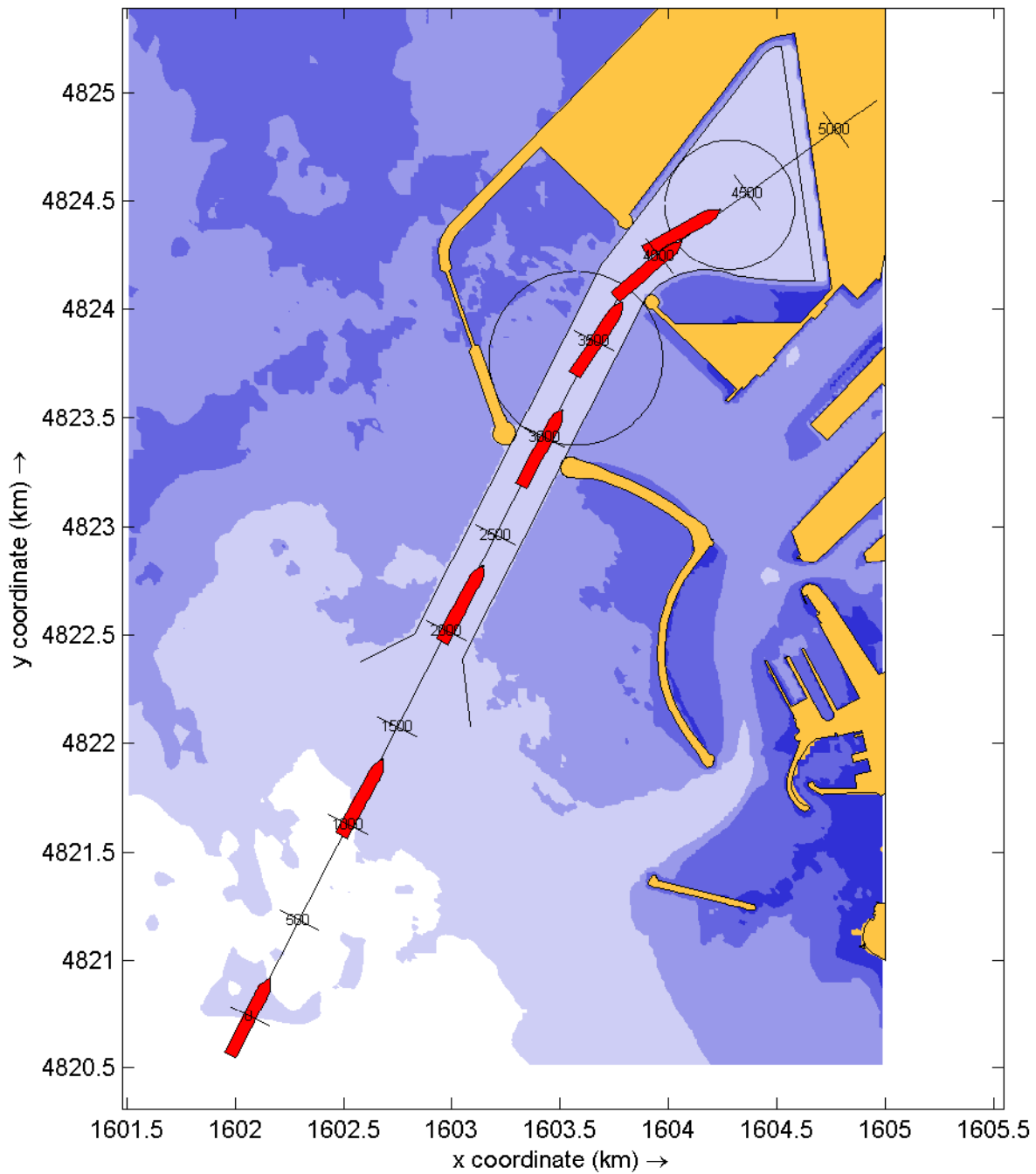
Initial speed	[m/s]	0.01
Number of revolutions ahead	[1/s]	0.7

RESULTS:

Final speed	[m/s]	5.59
Time to reach this speed	[s]	1255
Distance to reach this speed	[m]	4890

See also Figure 2.7

A2 Example Simulation Records



Overview plot of track and depth

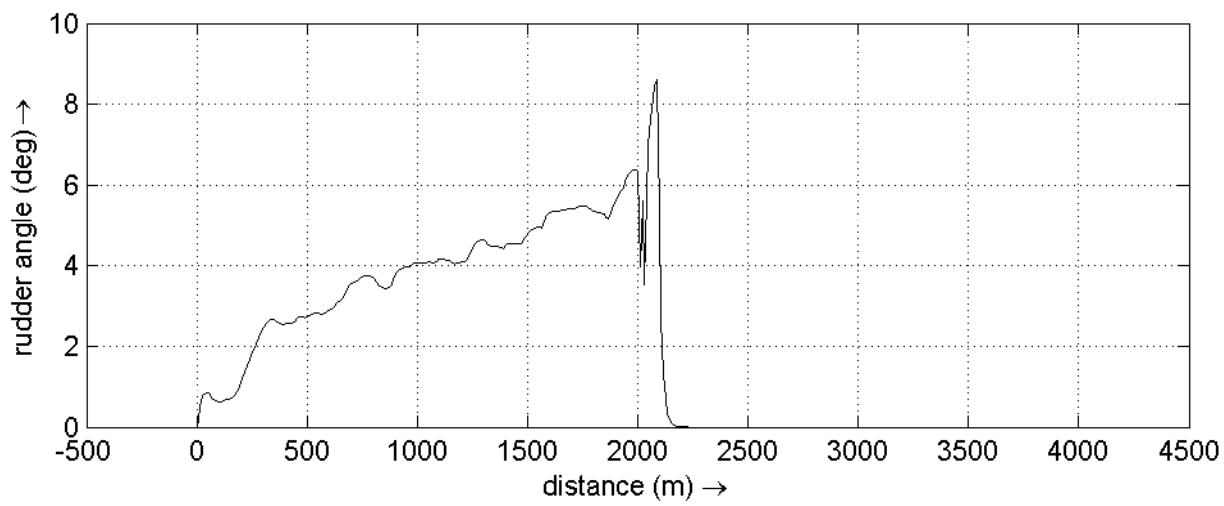
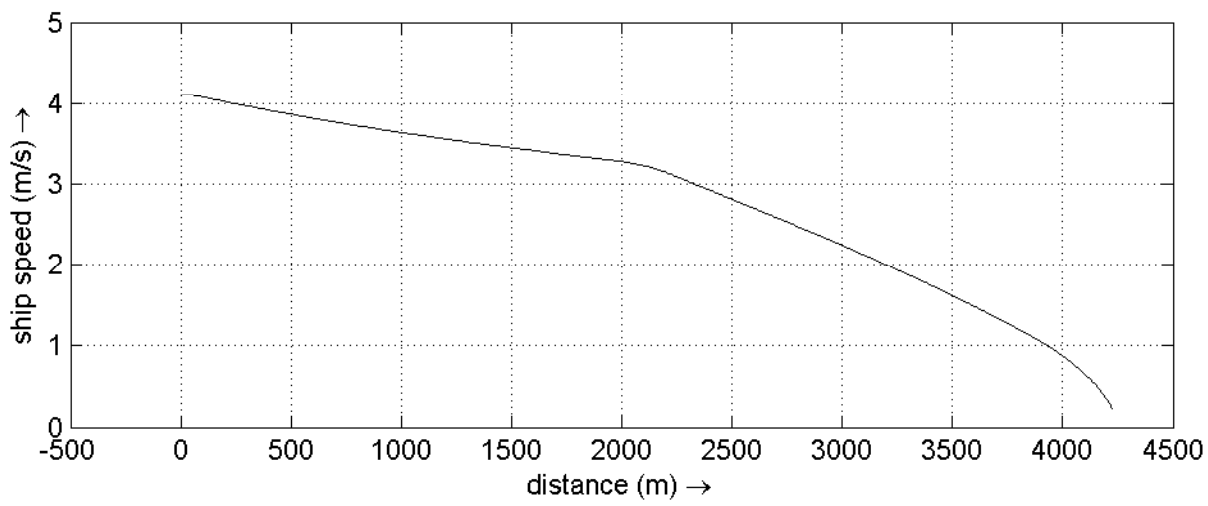
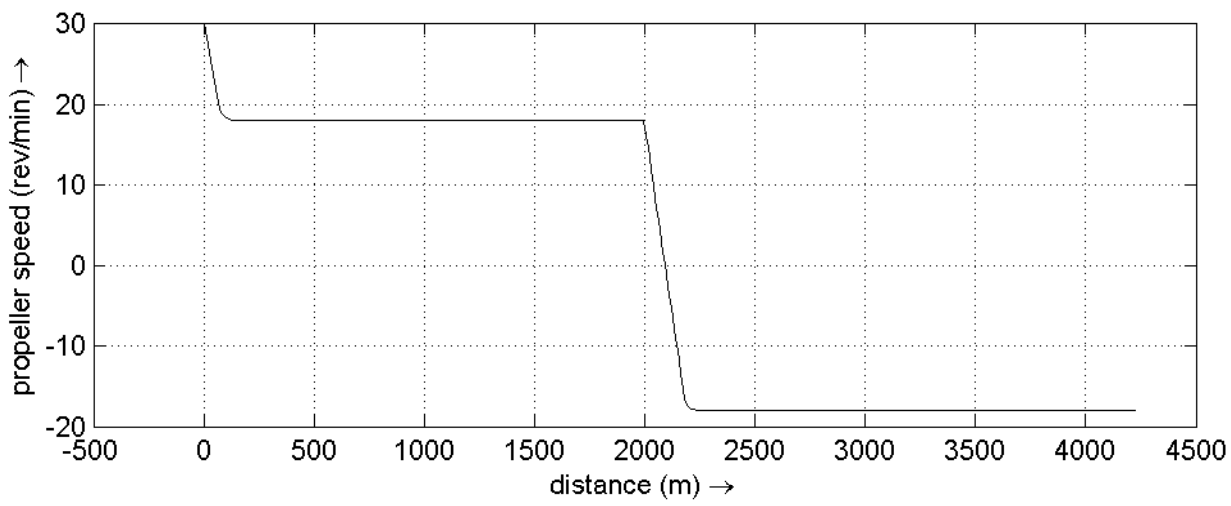
PB9376-Livorno

A12.3-WSC1-1xS

SHIPMA 7.4.0

Royal HaskoningDHV

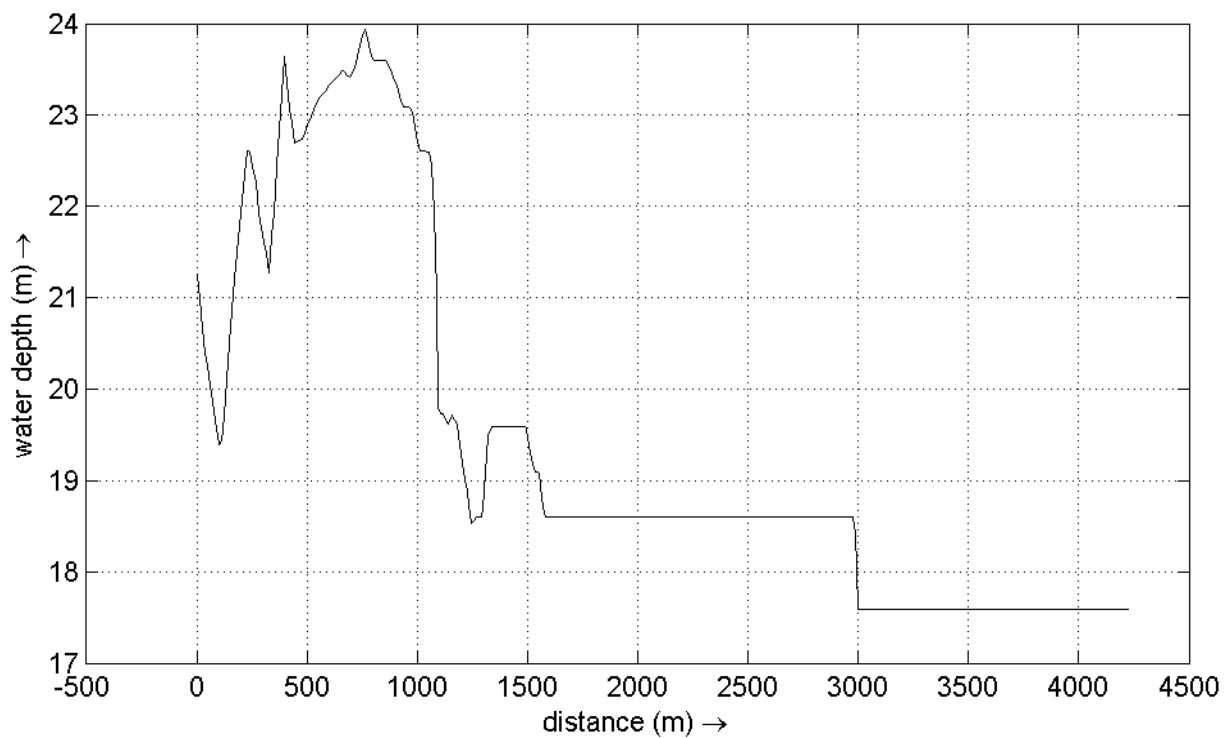
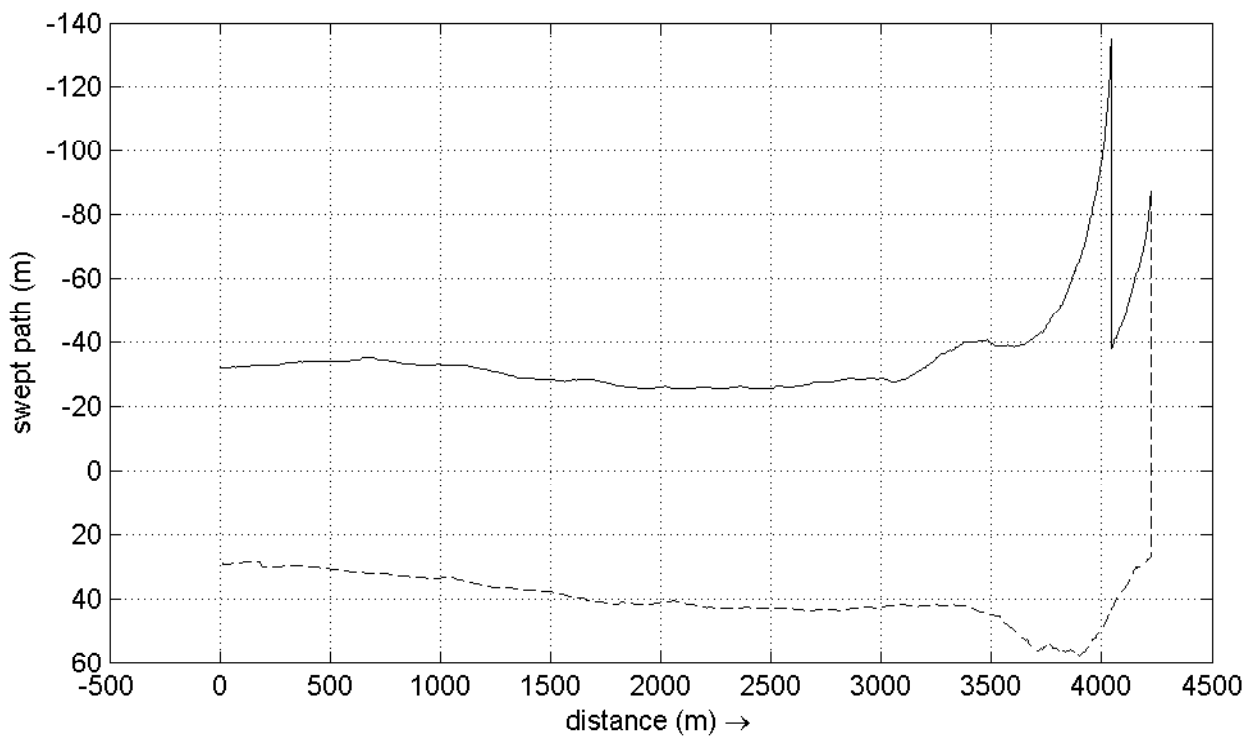
Fig. A



Propeller speed, ship speed and rudder angle plots

PB9376-Livorno | A12.3-WSC1-1xS

SHIPMA 7.4.0



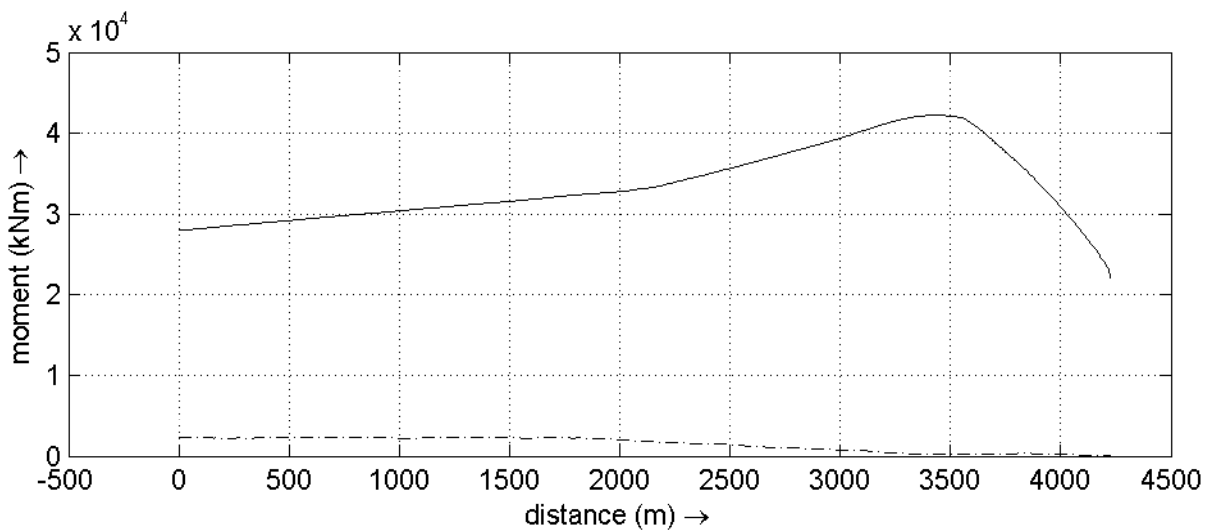
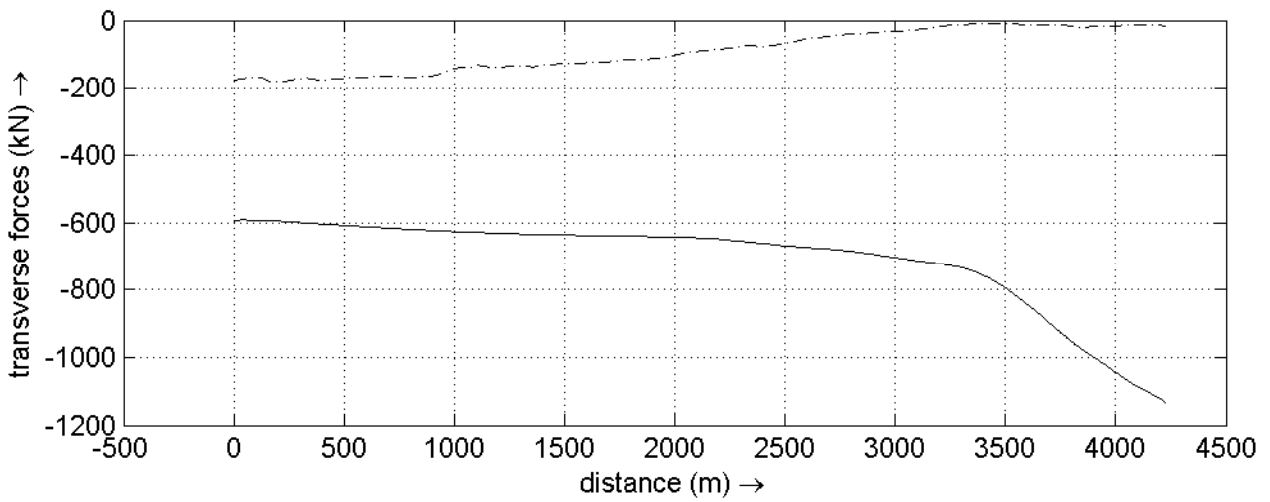
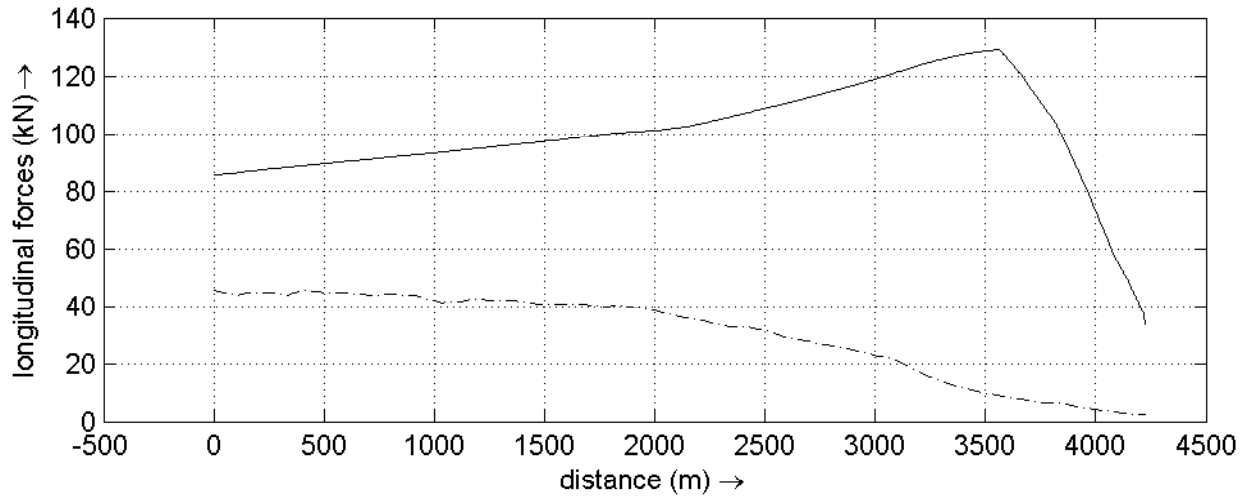
Swept path and depth along track
 Starboard side (dashed) port side (solid)

PB9376-Livorno | A12.3-WSC1-1xS

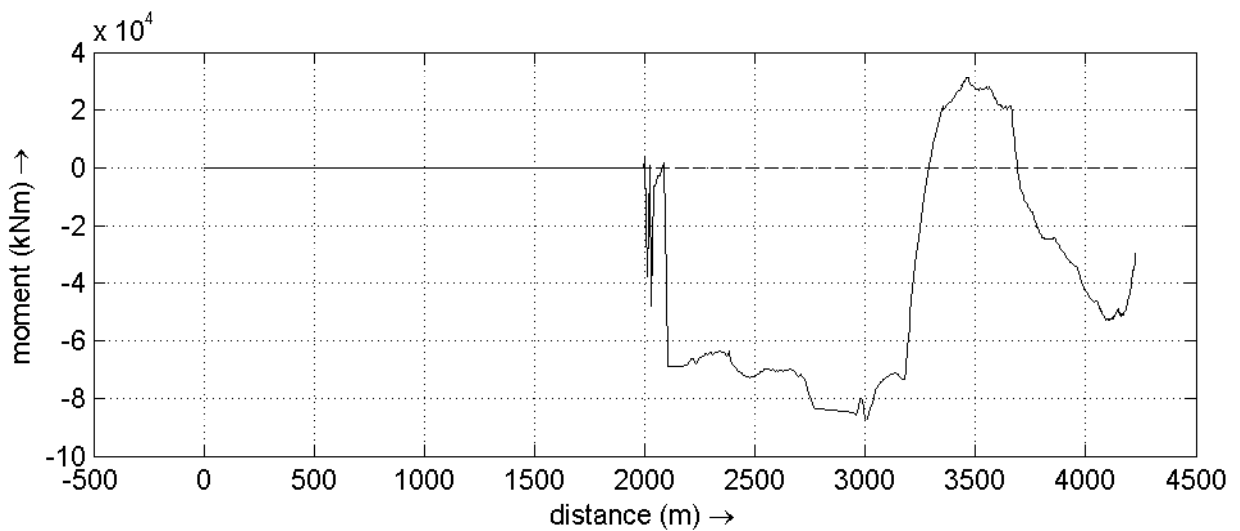
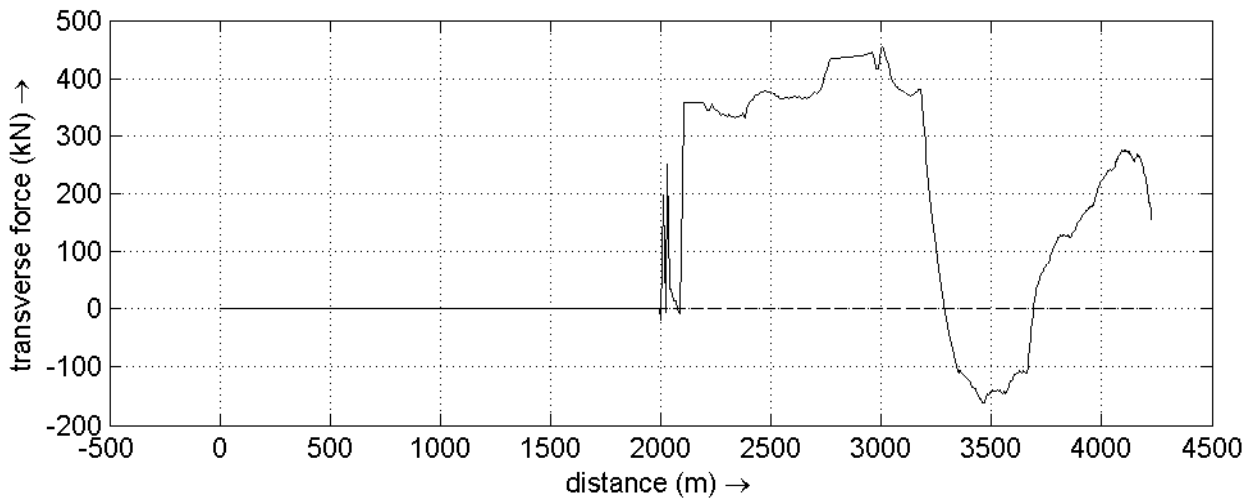
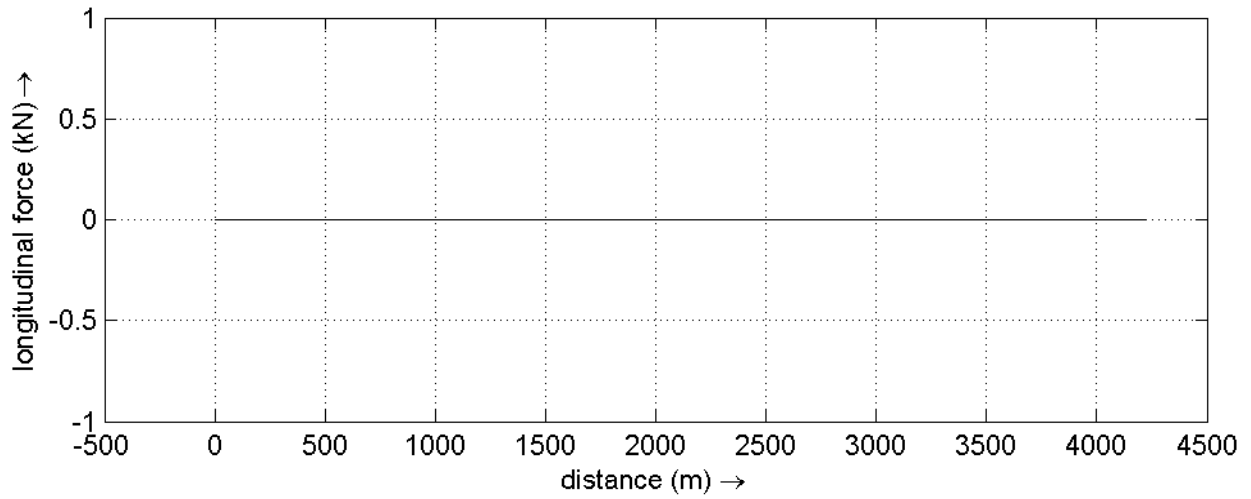
SHIPMA 7.4.0

Royal HaskoningDHV

Fig. C



External forces plots Wind (solid), waves (dashed), swell (dash-dotted) and bank suction (dotted)	PB9376-Livorno	A12.3-WSC1-1xS
	SHIPMA 7.4.0	
Royal HaskoningDHV		Fig. D



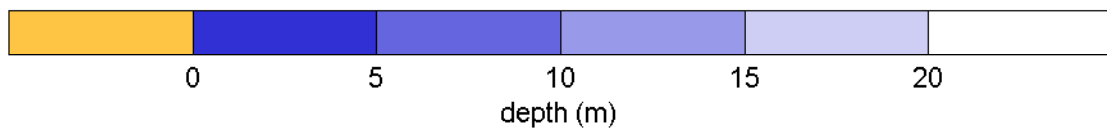
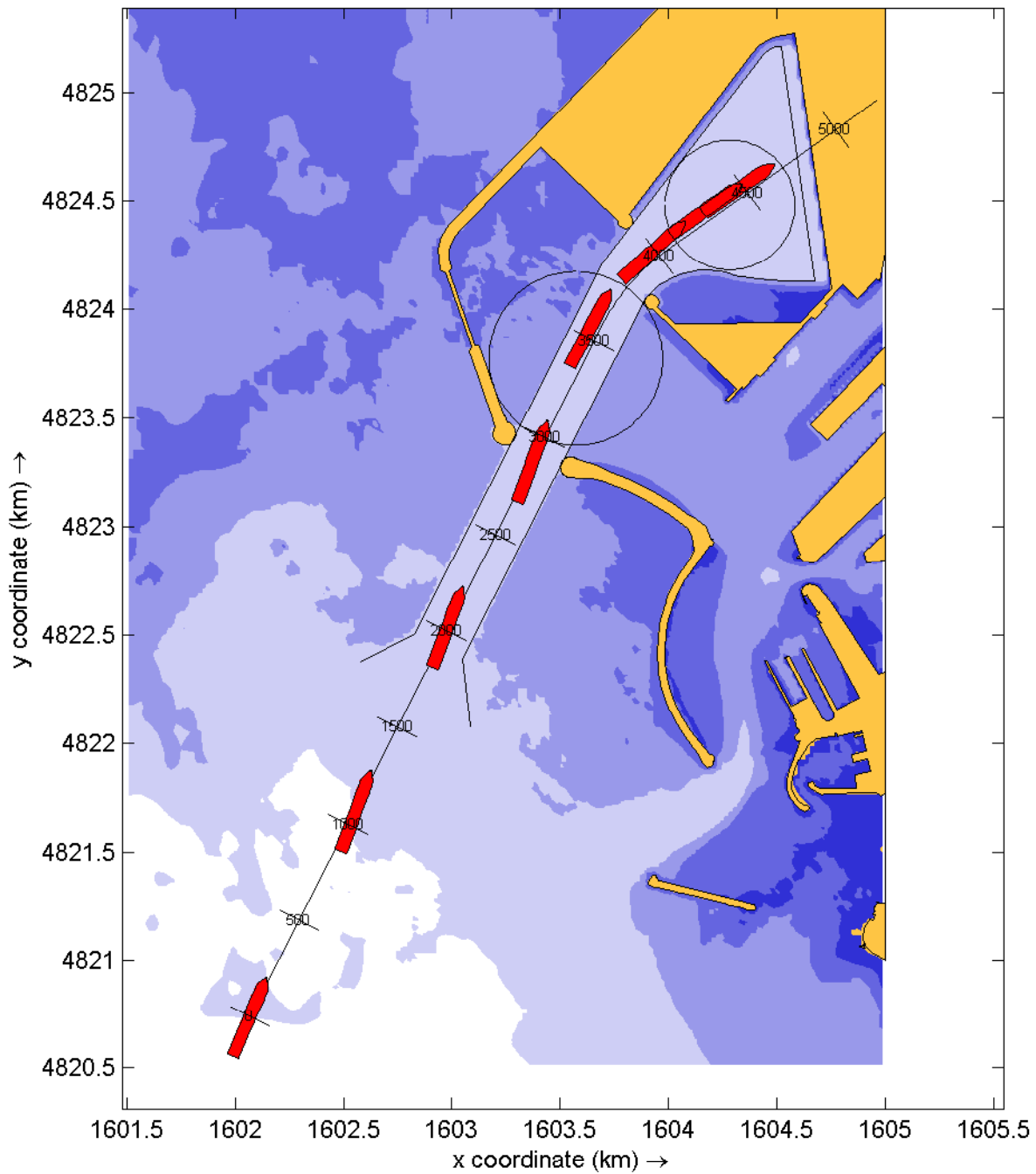
Tug and thrusters forces plots
Tug forces (solid) and thruster forces (dashed)

PB9376-Livorno | A12.3-WSC1-1xS

SHIPMA 7.4.0

Royal HaskoningDHV

Fig. E



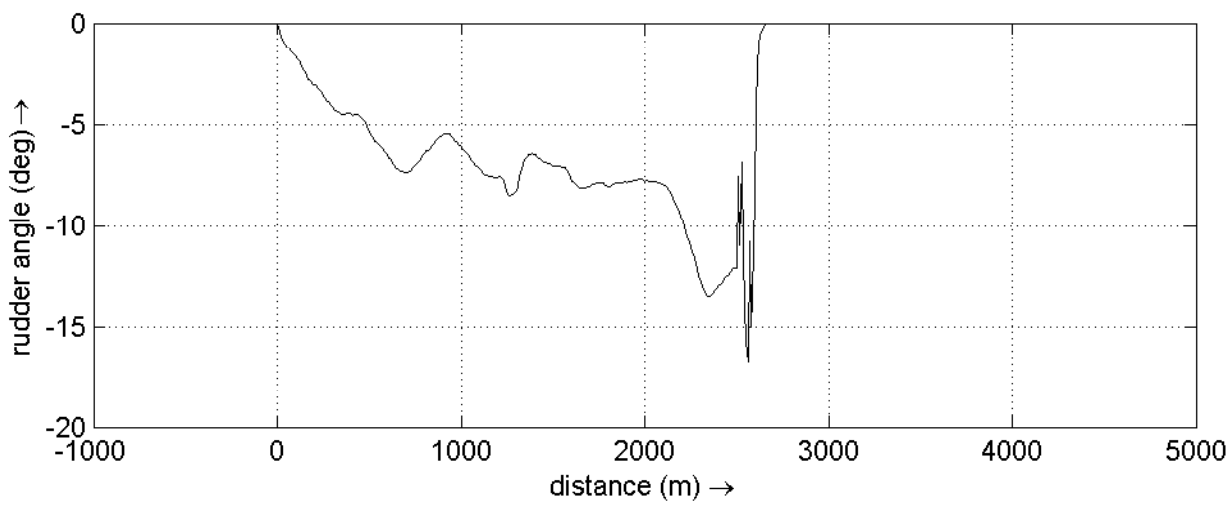
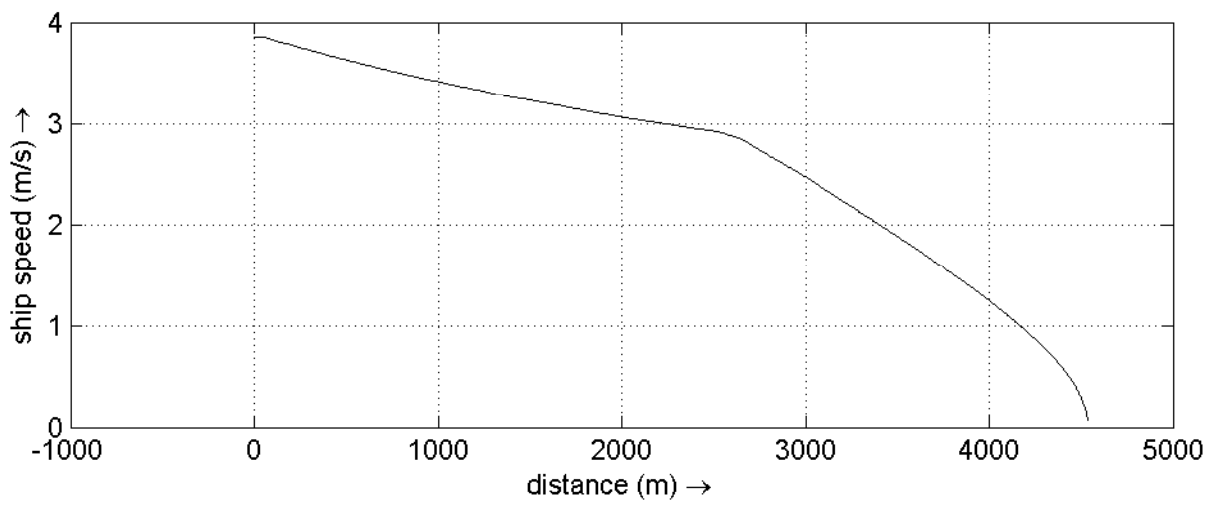
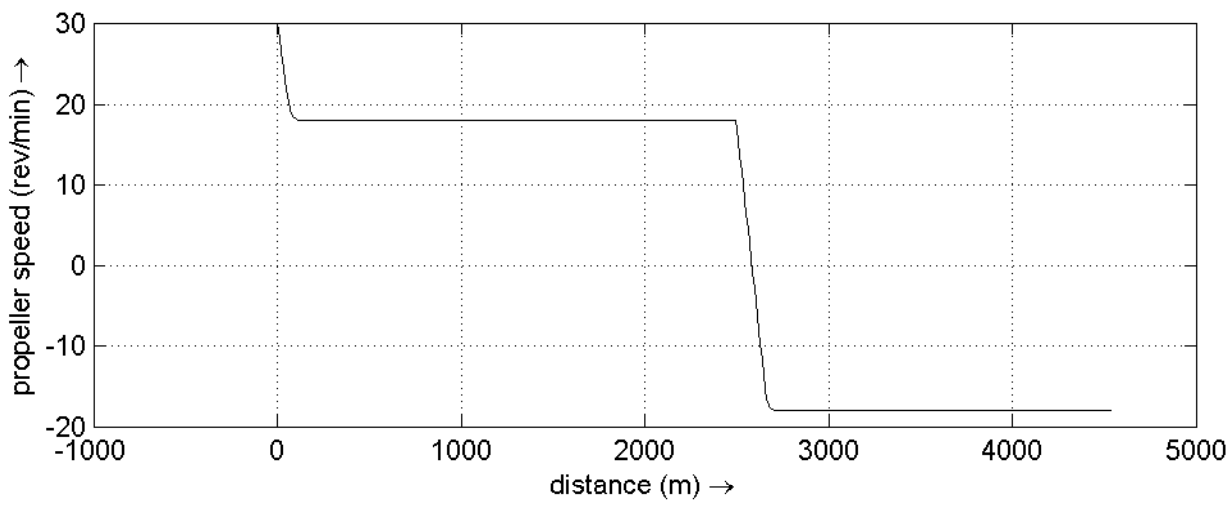
Overview plot of track and depth

PB9376-Livorno A13.5-WSC2-4xSE

SHIPMA 7.4.0

Royal HaskoningDHV

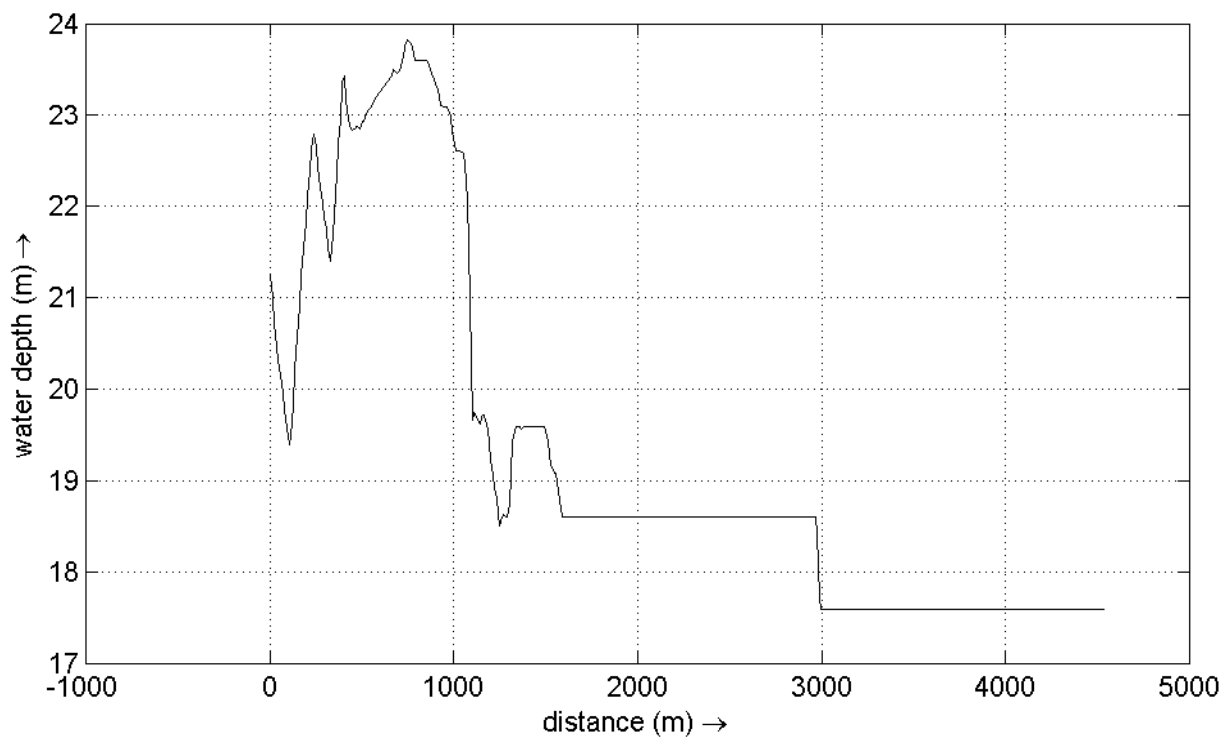
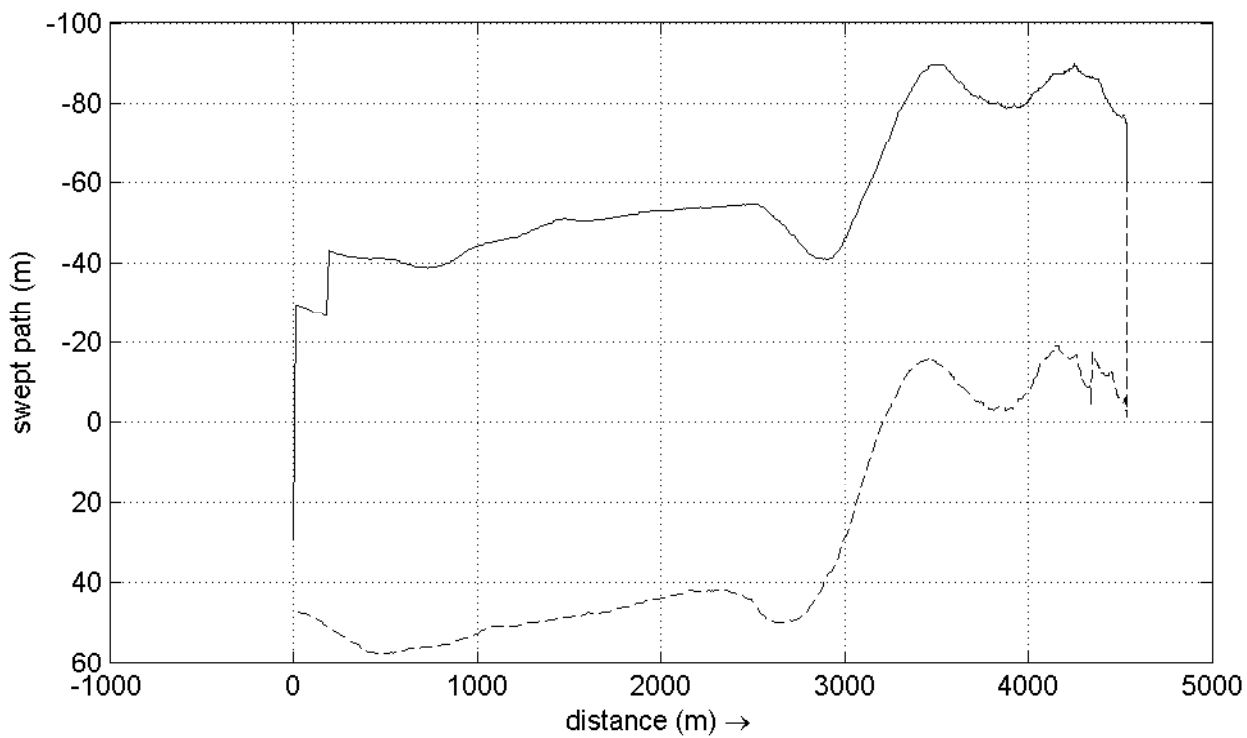
Fig. A



Propeller speed, ship speed and rudder angle plots

PB9376-Livorno A13.5-WSC2-4xSE

SHIPMA 7.4.0



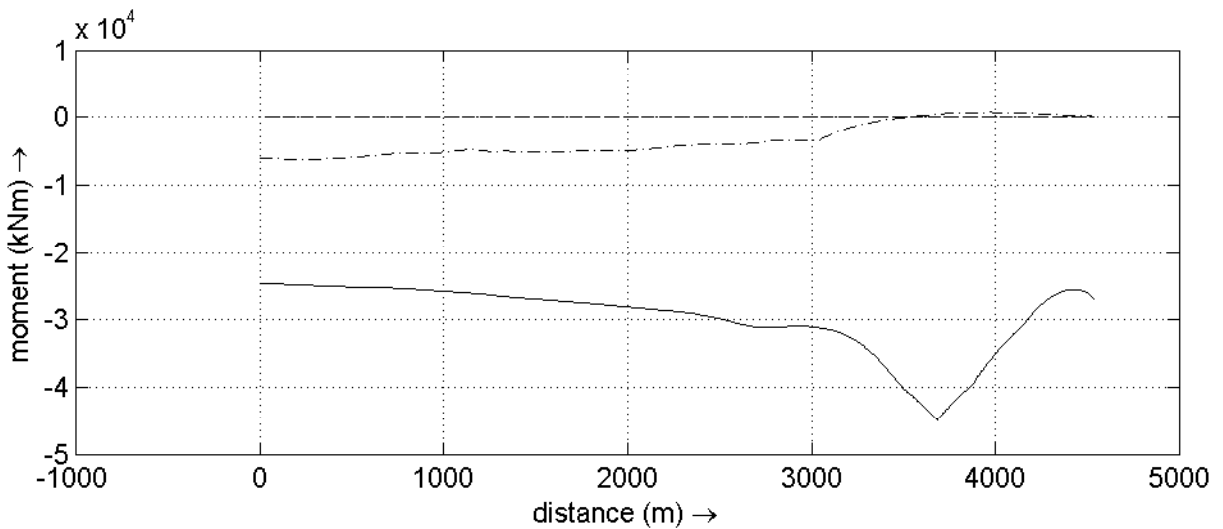
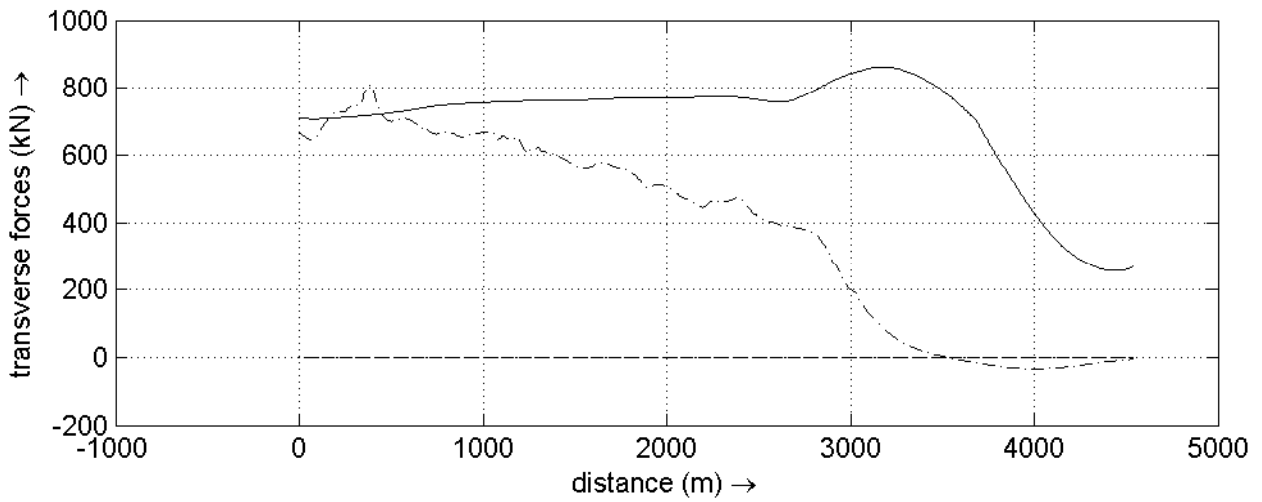
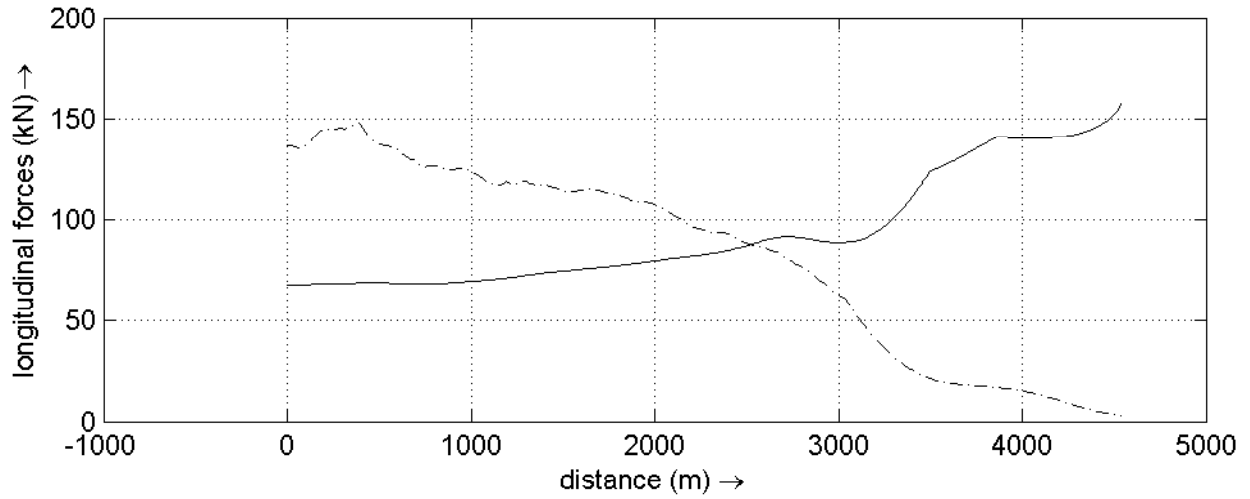
Swept path and depth along track
 Starboard side (dashed) port side (solid)

PB9376-Livorno A13.5-WSC2-4xSE

SHIPMA 7.4.0

Royal HaskoningDHV

Fig. C



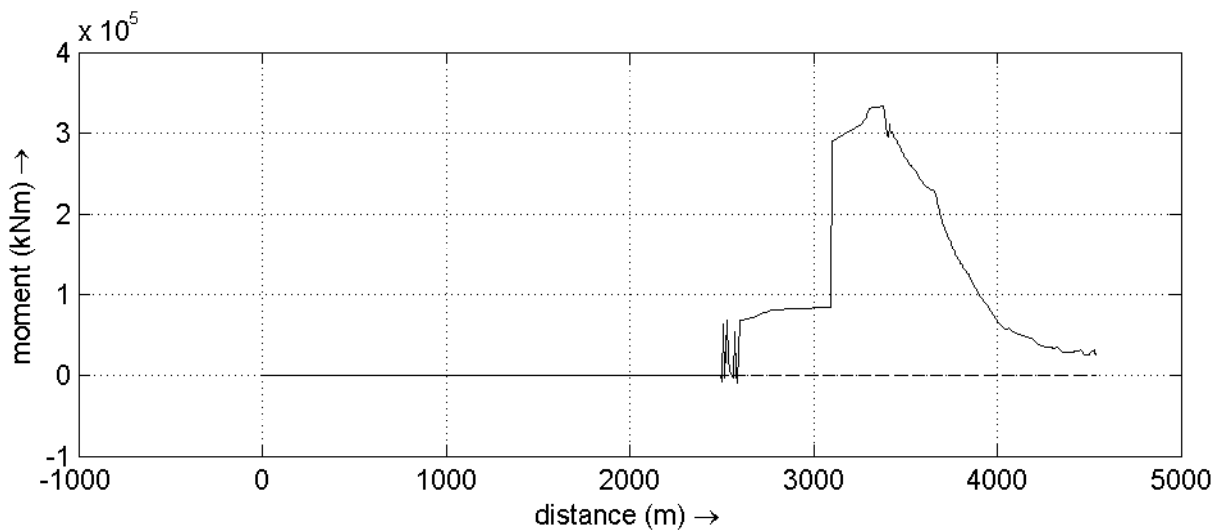
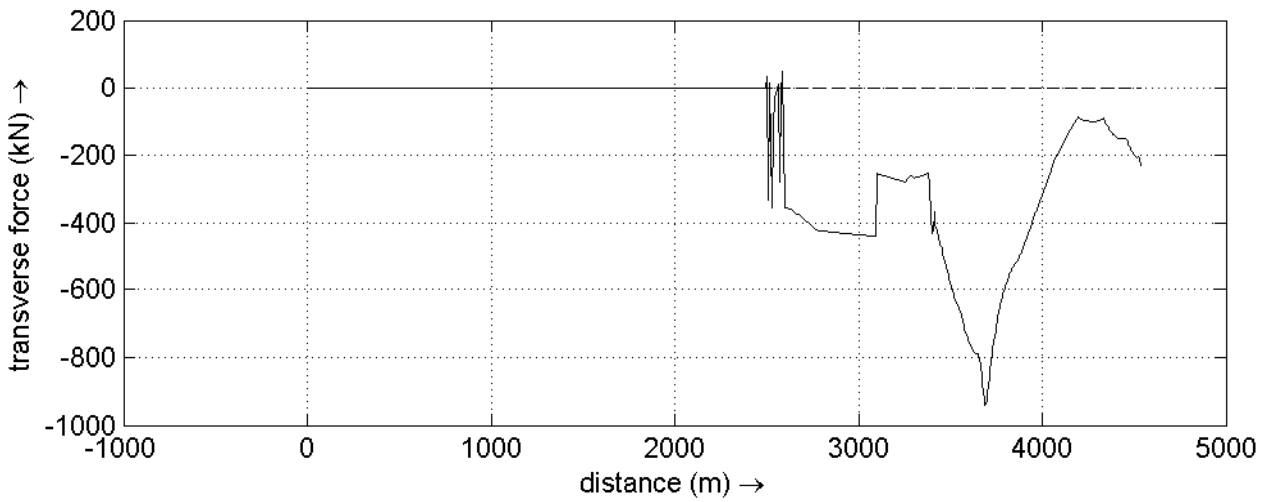
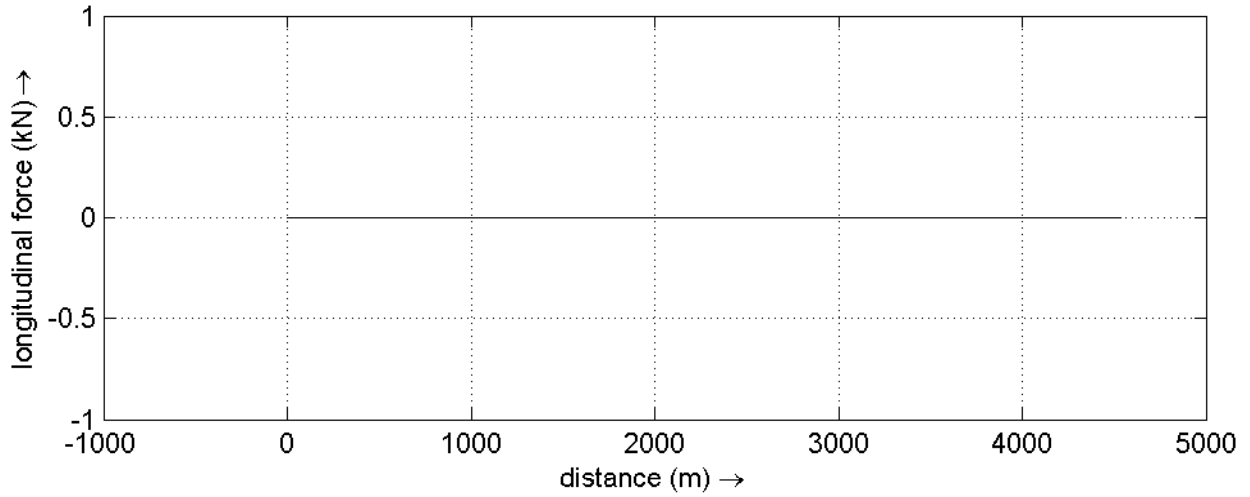
External forces plots
 Wind (solid), waves (dashed), swell (dash-dotted) and bank suction (dotted)

PB9376-Livorno A13.5-WSC2-4xSE

SHIPMA 7.4.0

Royal HaskoningDHV

Fig. D



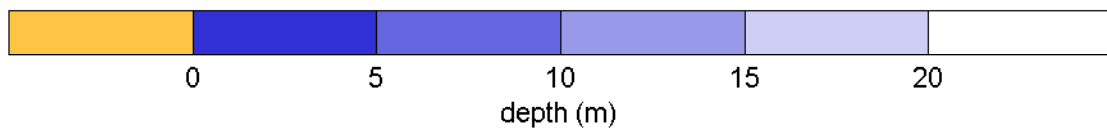
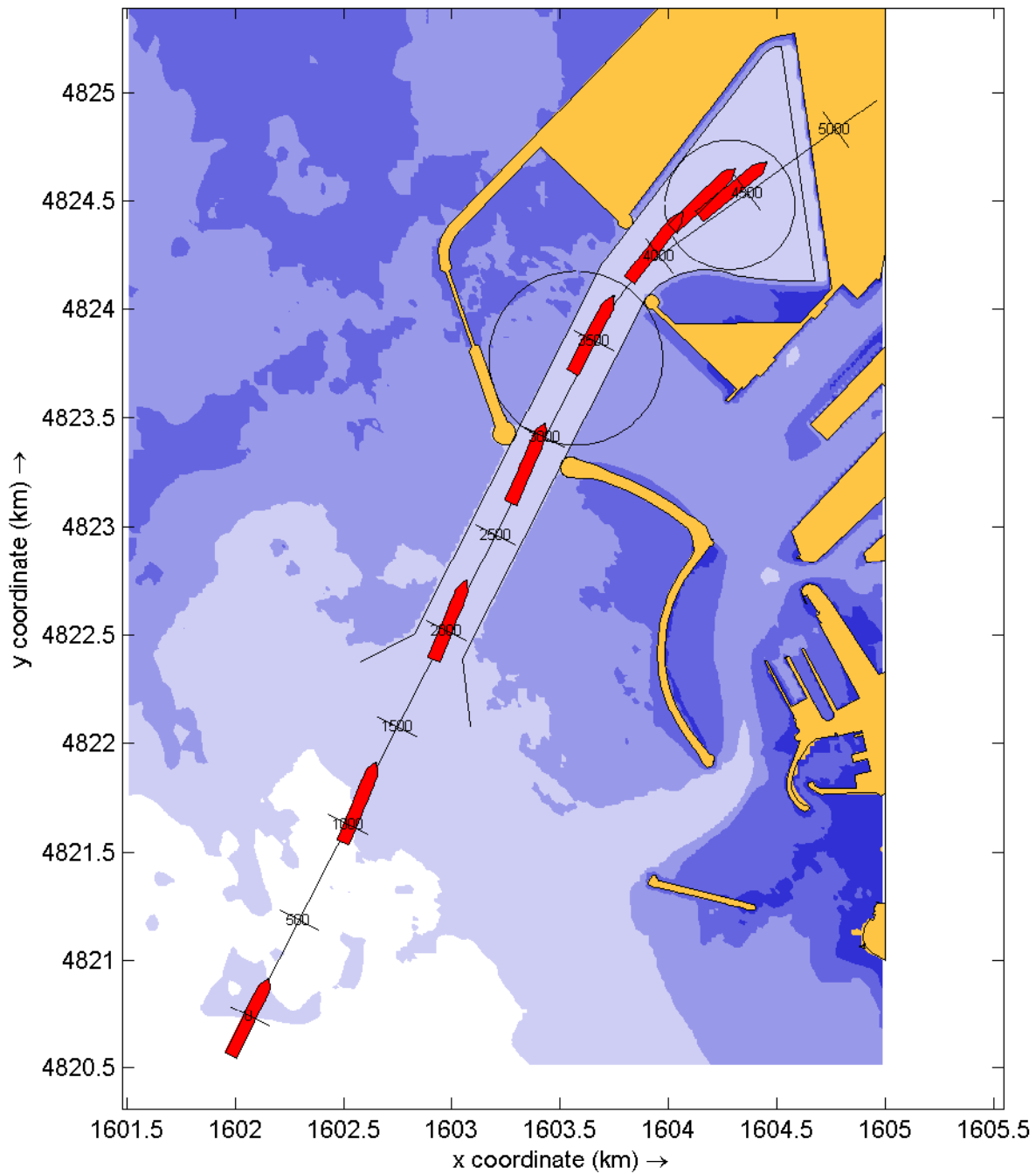
Tug and thrusters forces plots
Tug forces (solid) and thruster forces (dashed)

PB9376-Livorno A13.5-WSC2-4xSE

SHIPMA 7.4.0

Royal HaskoningDHV

Fig. E



Overview plot of track and depth

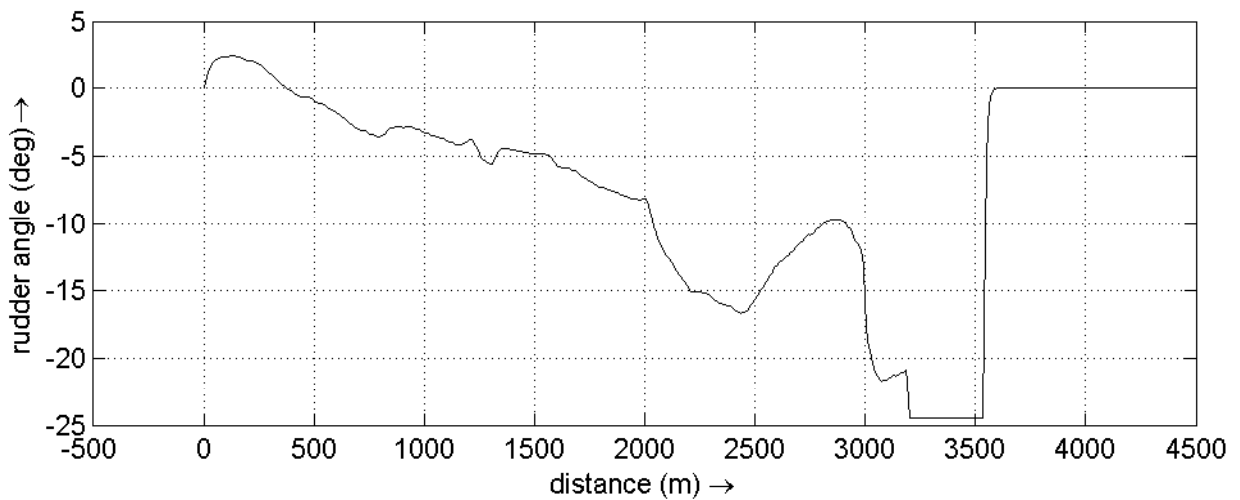
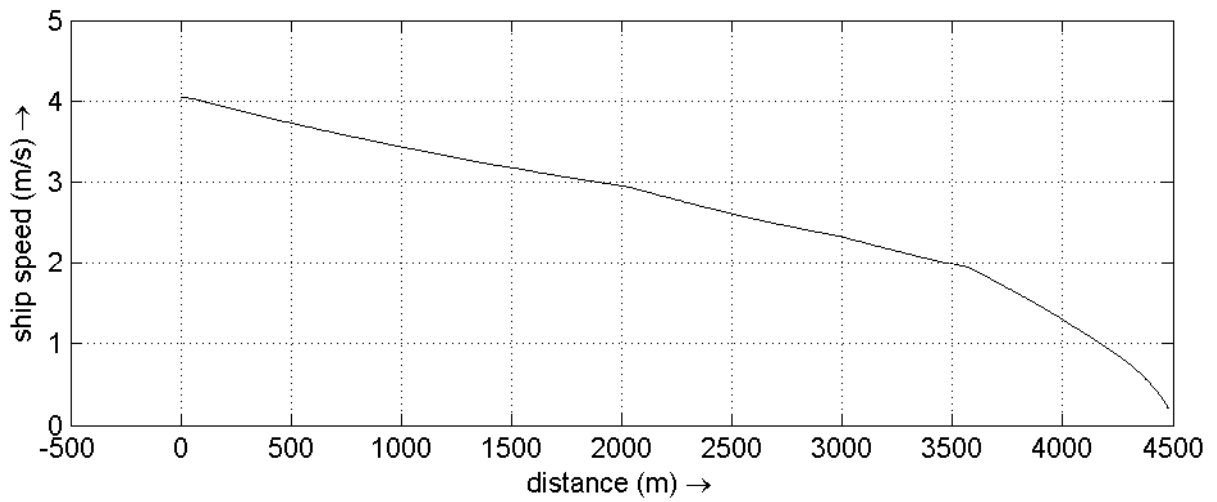
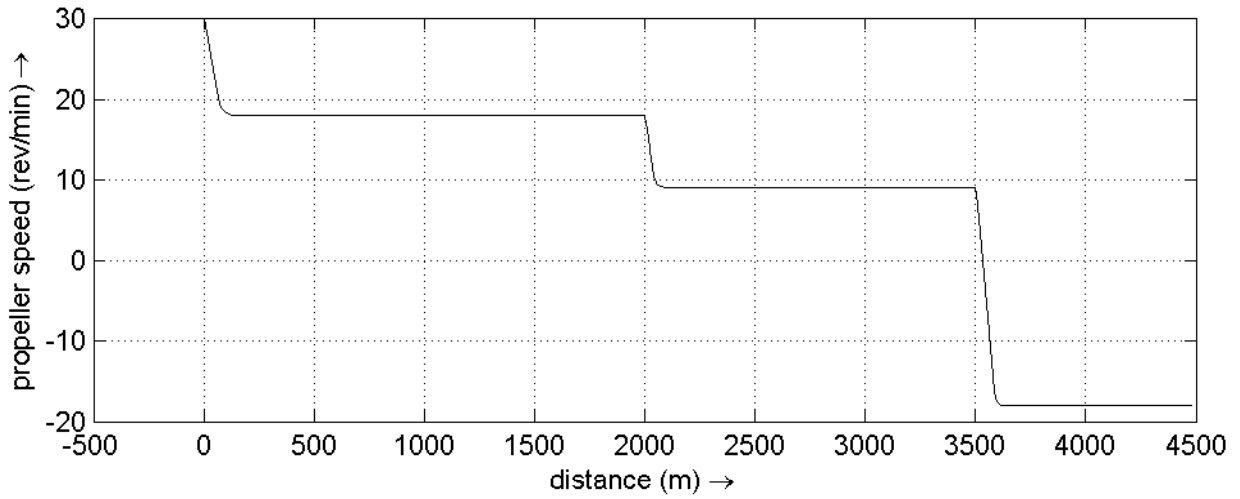
PB9376-Livorno

A14-WSC3-1xS

SHIPMA 7.4.0

Royal HaskoningDHV

Fig. A

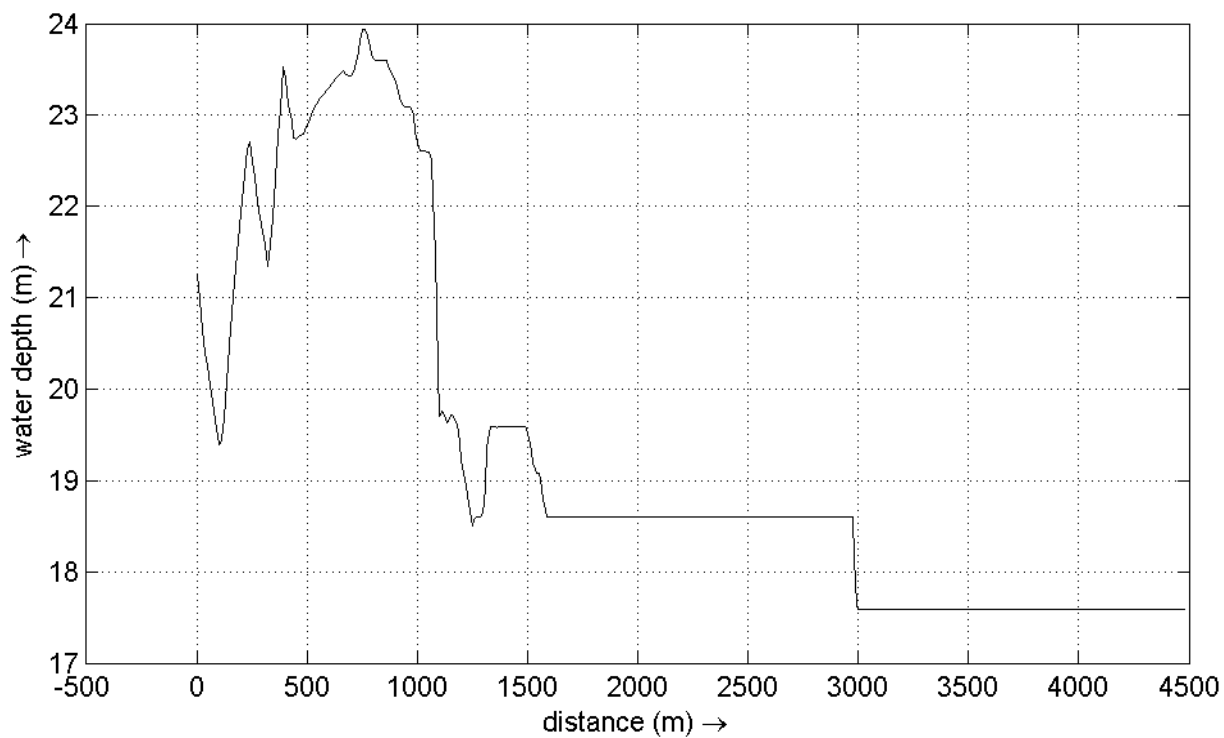
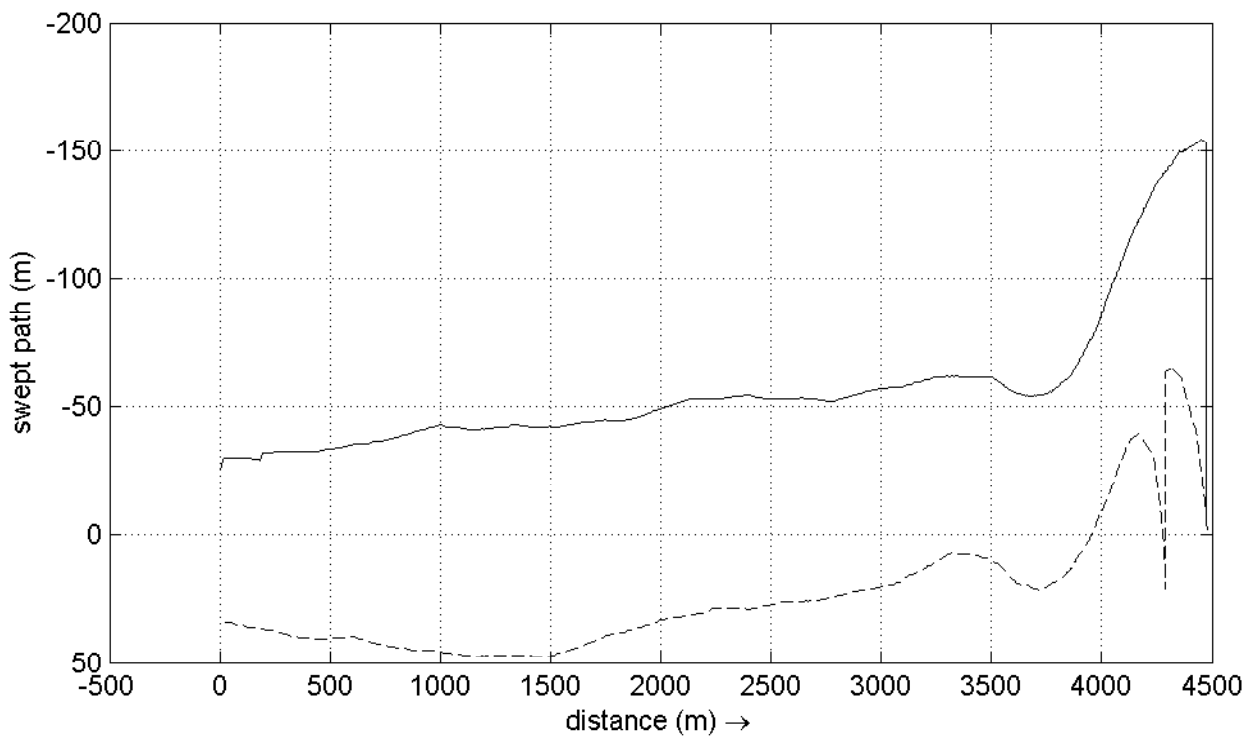


Propeller speed, ship speed and rudder angle plots

PB9376-Livorno

A14-WSC3-1xS

SHIPMA 7.4.0



Swept path and depth along track
Starboard side (dashed) port side (solid)

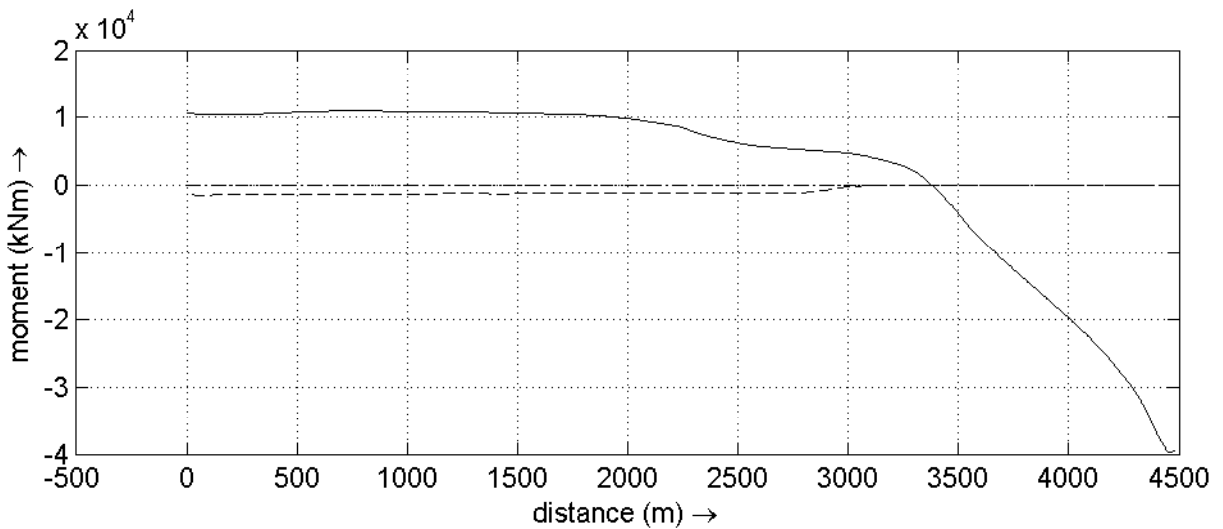
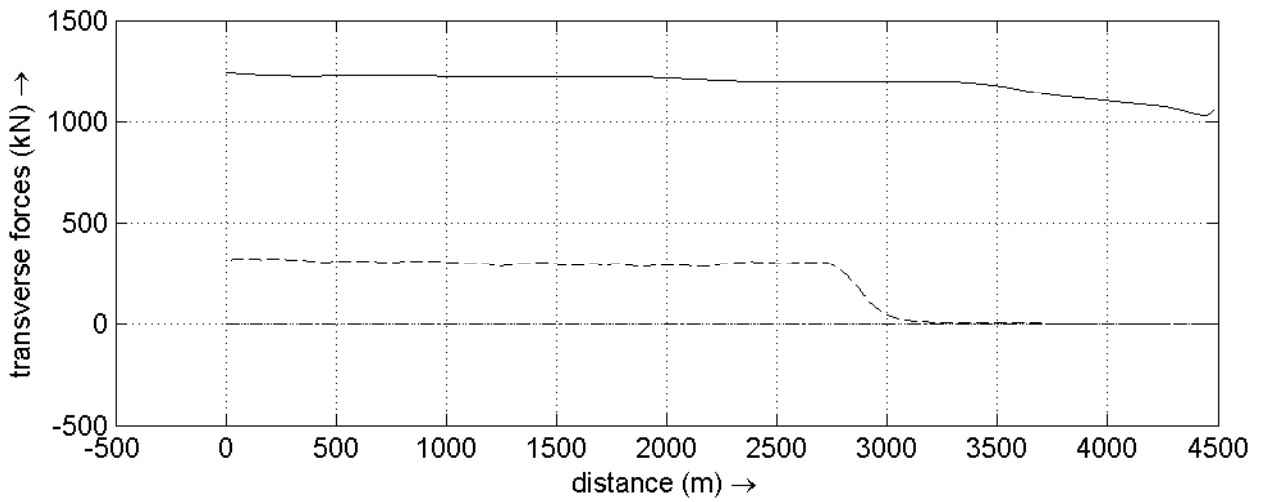
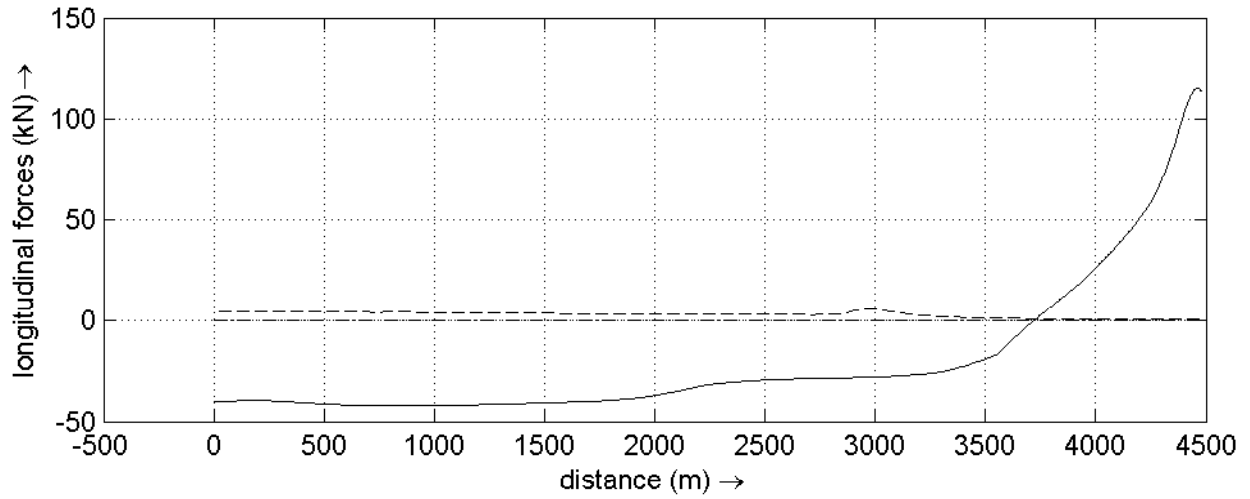
PB9376-Livorno

A14-WSC3-1xS

SHIPMA 7.4.0

Royal HaskoningDHV

Fig. C



External forces plots
 Wind (solid), waves (dashed), swell (dash-dotted) and bank suction (dotted)

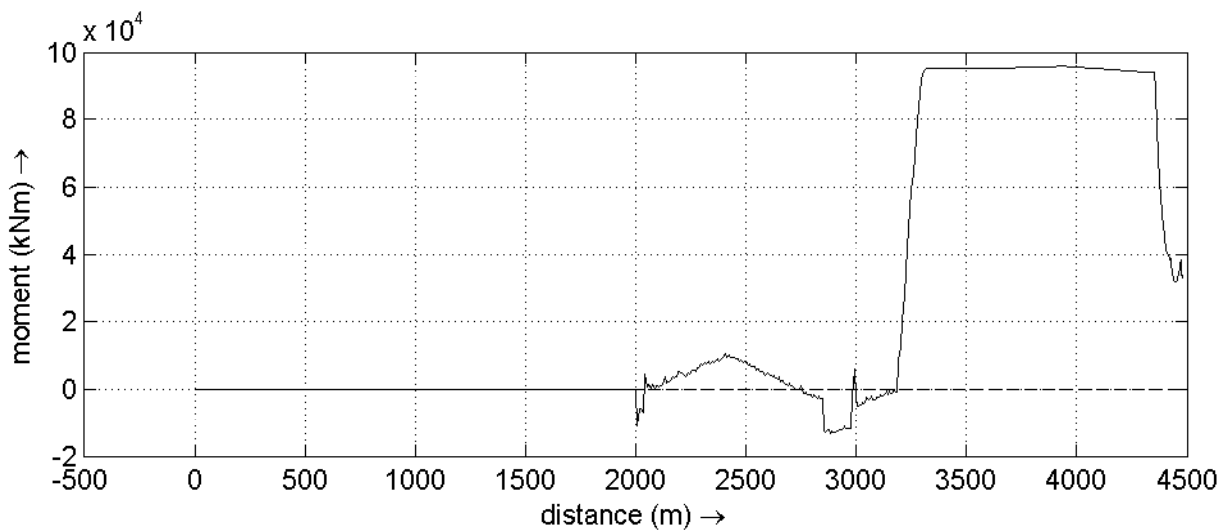
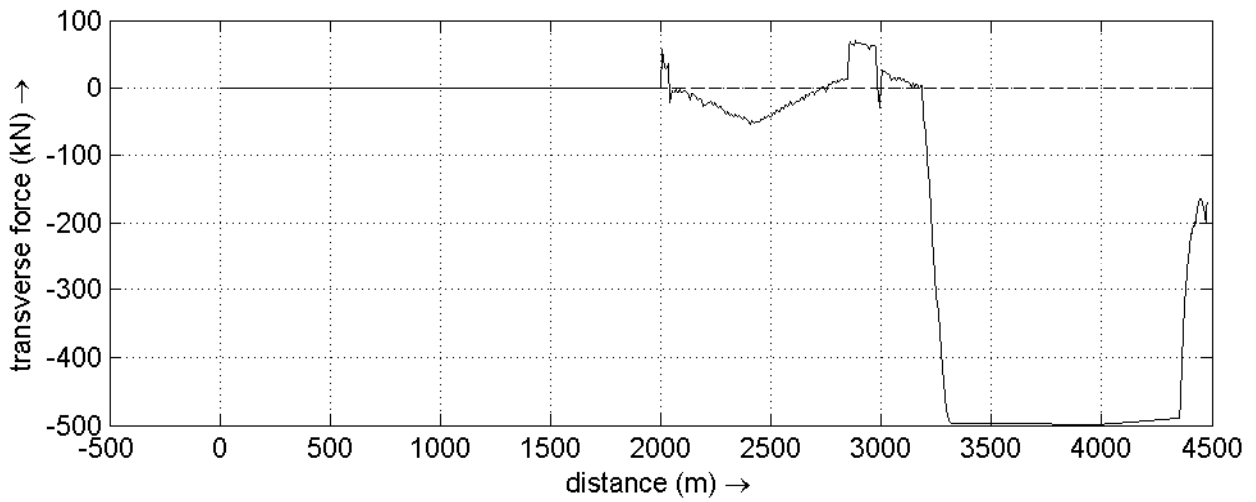
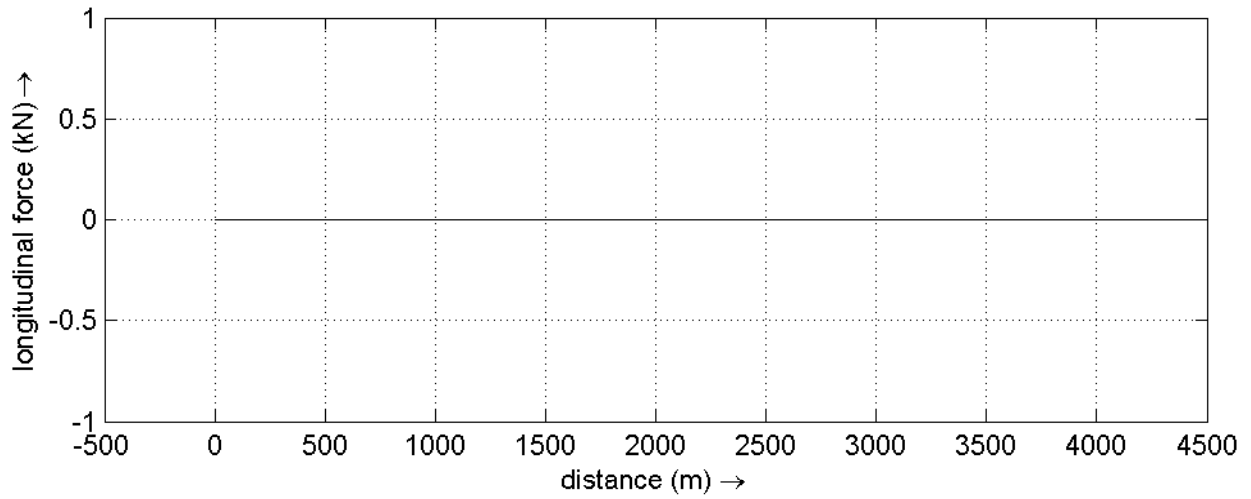
PB9376-Livorno

A14-WSC3-1xS

SHIPMA 7.4.0

Royal HaskoningDHV

Fig. D



Tug and thrusters forces plots
Tug forces (solid) and thruster forces (dashed)

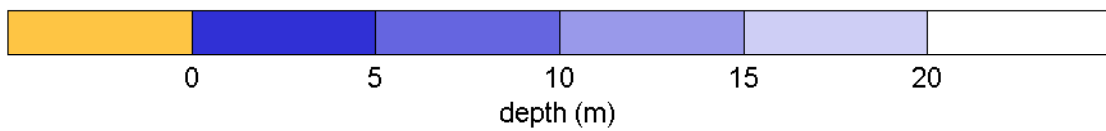
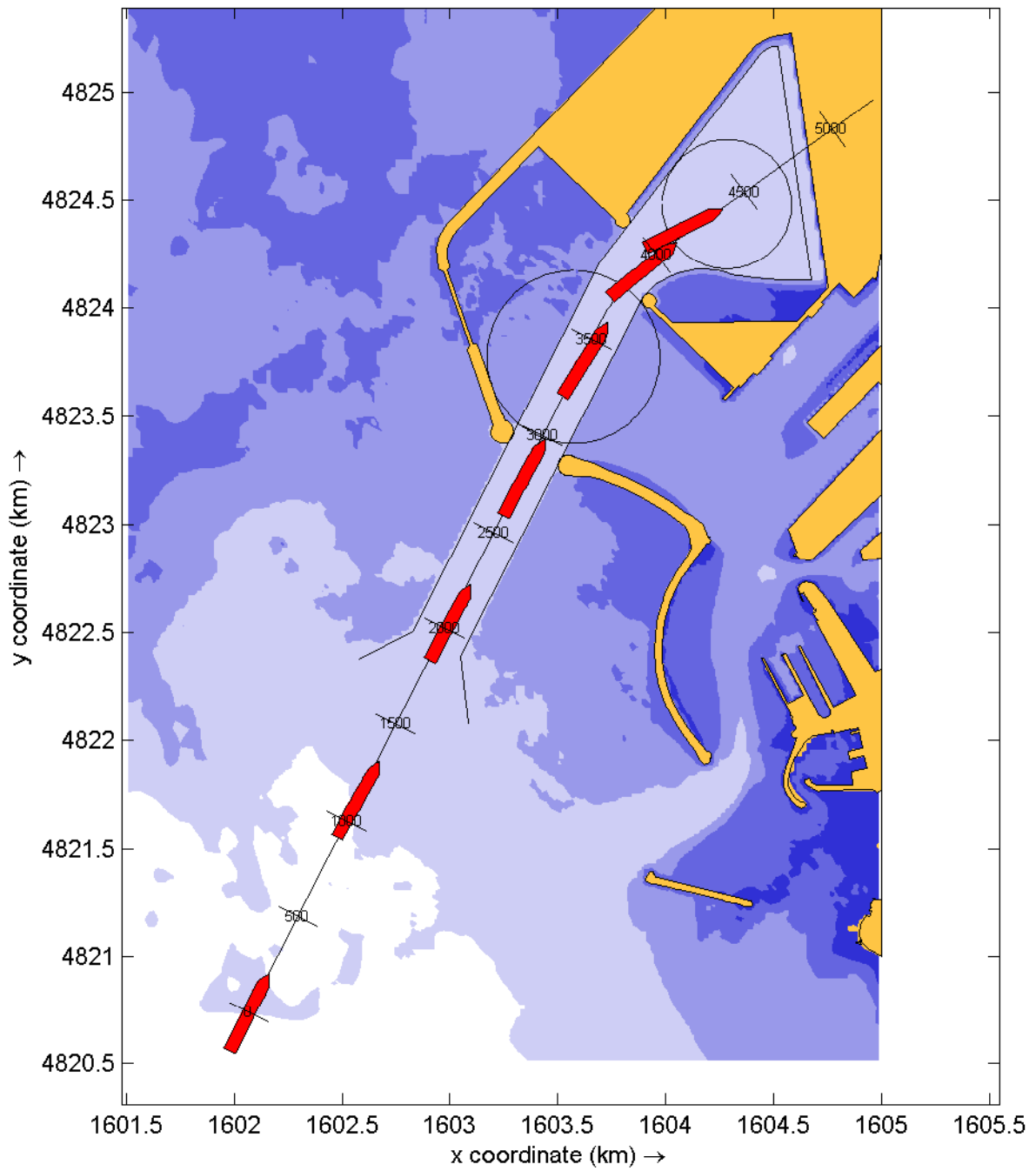
PB9376-Livorno

A14-WSC3-1xS

SHIPMA 7.4.0

Royal HaskoningDHV

Fig. E



Overview plot of track and depth

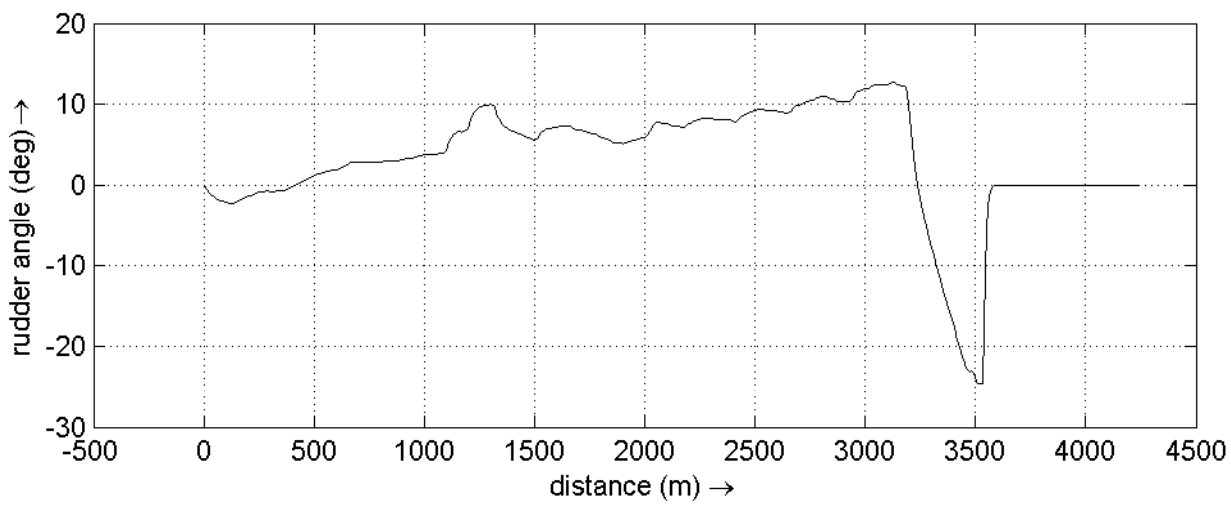
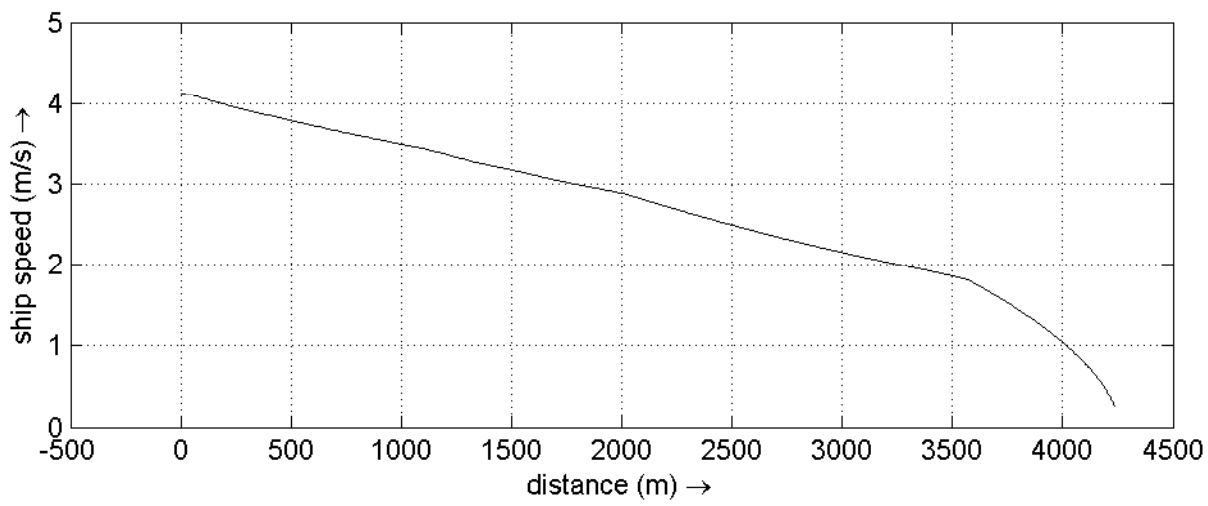
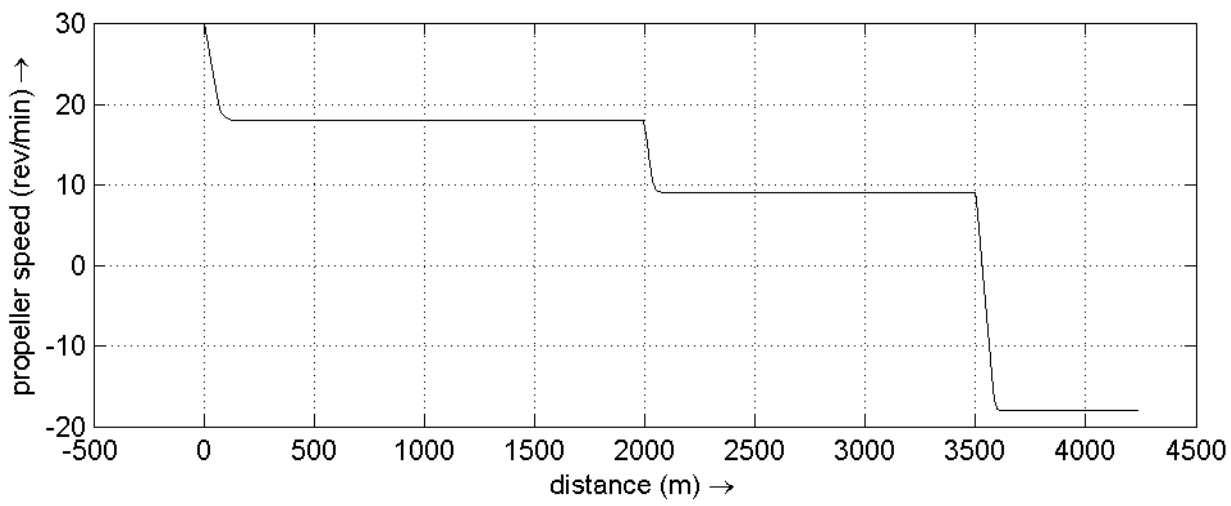
PB9376-Livorno

A15.1-W4-1xS

SHIPMA 7.4.0

Royal HaskoningDHV

Fig. A

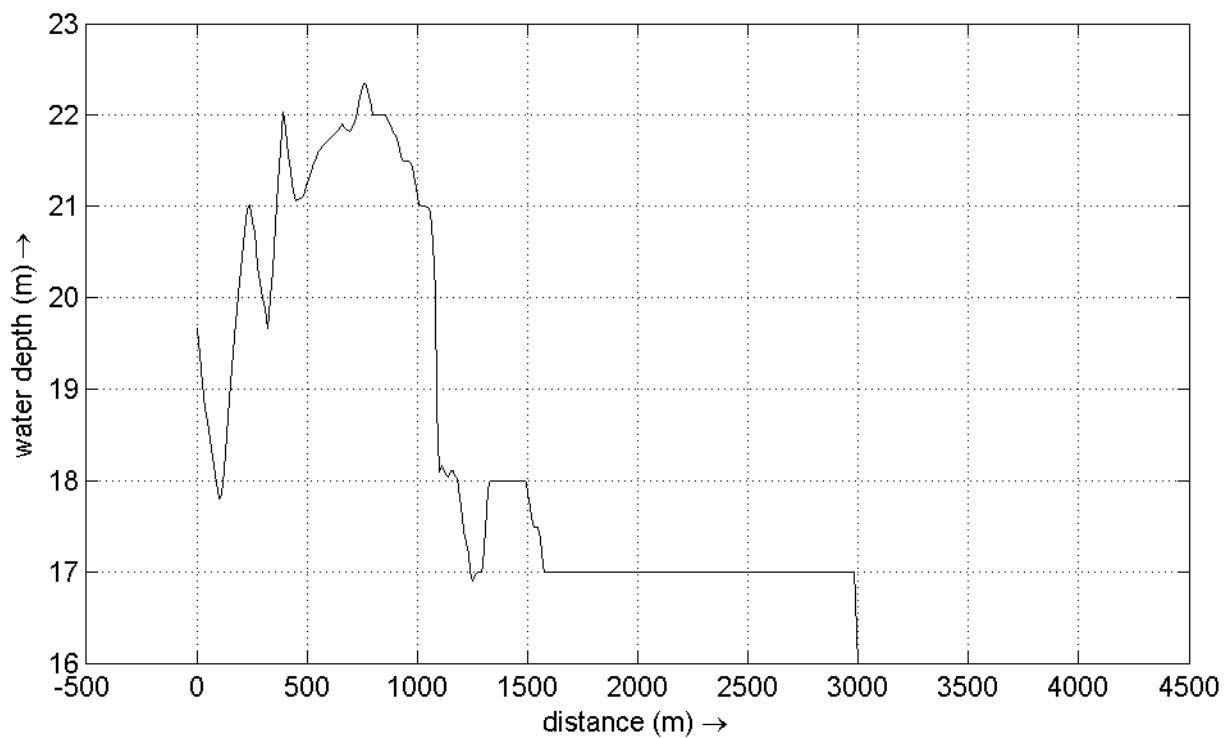
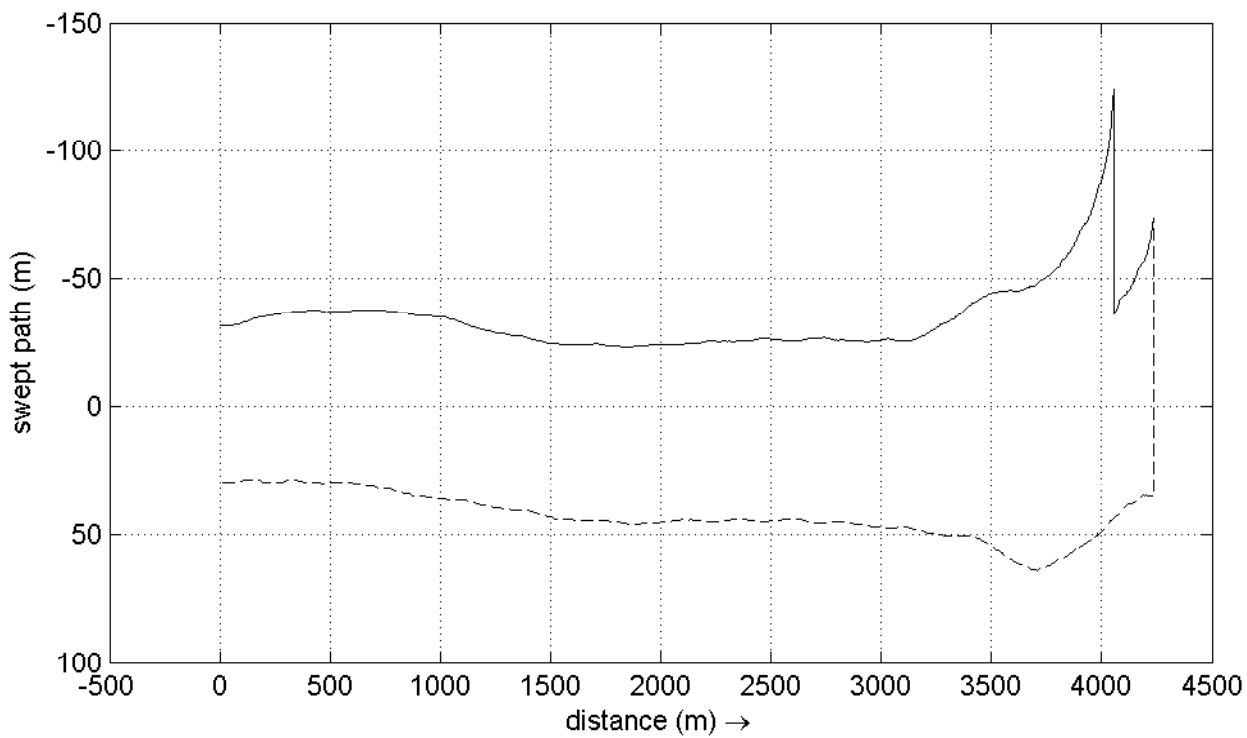


Propeller speed, ship speed and rudder angle plots

PB9376-Livorno

A15.1-W4-1xS

SHIPMA 7.4.0



Swept path and depth along track
 Starboard side (dashed) port side (solid)

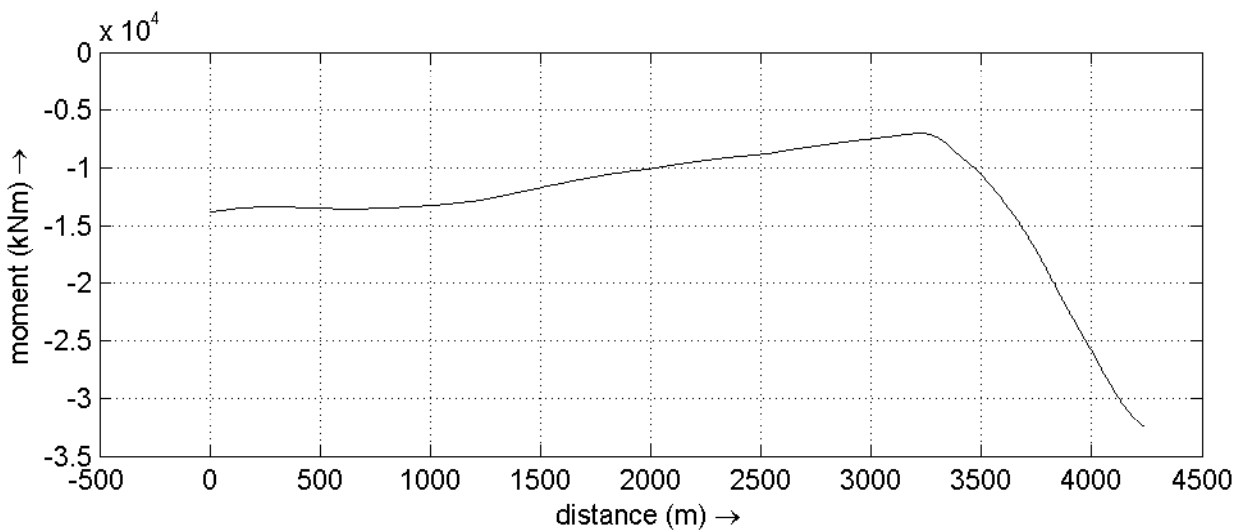
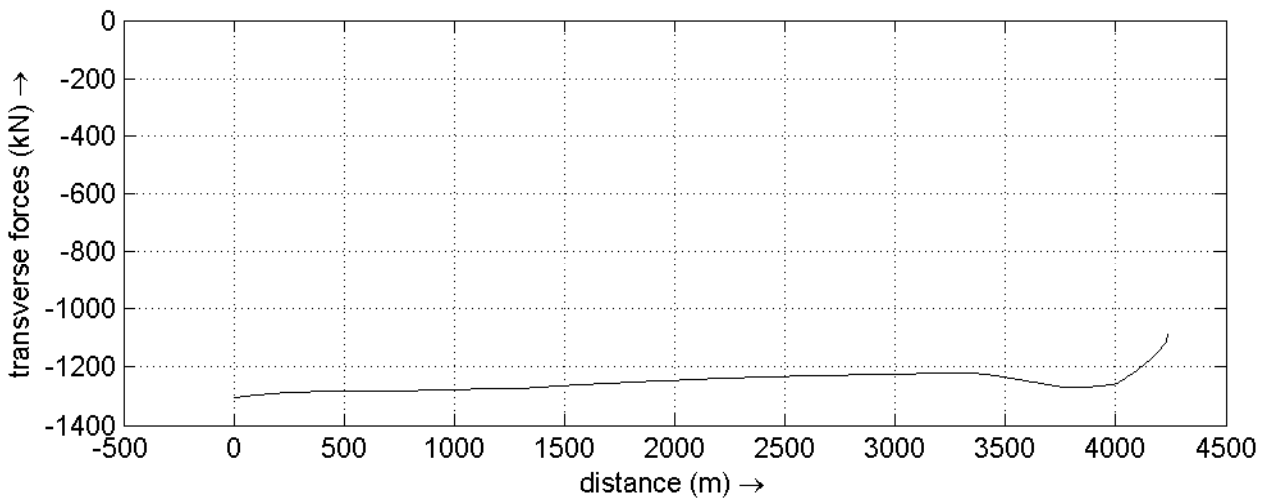
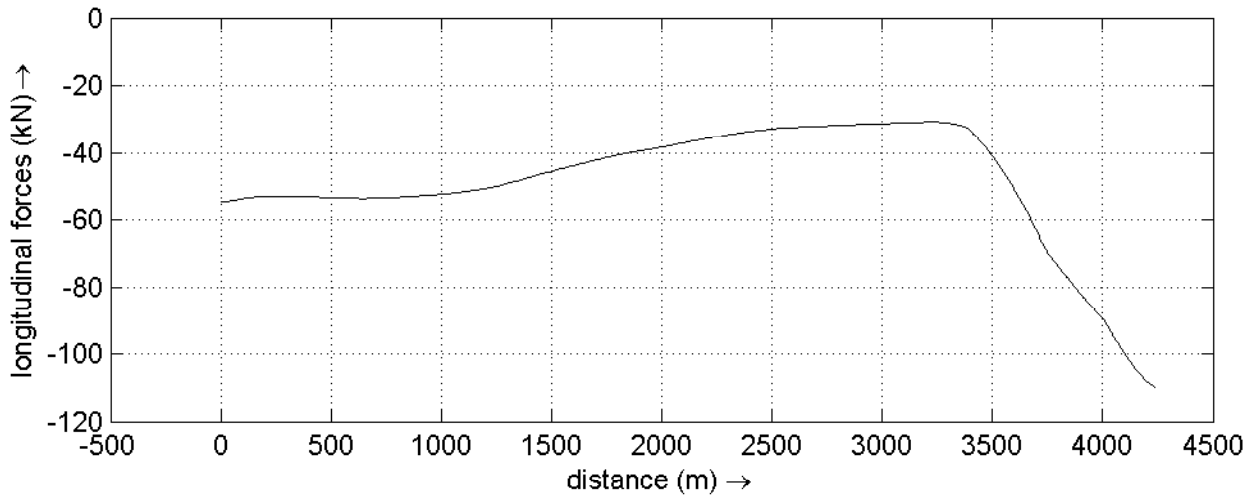
PB9376-Livorno

A15.1-W4-1xS

SHIPMA 7.4.0

Royal HaskoningDHV

Fig. C



External forces plots
 Wind (solid), waves (dashed), swell (dash-dotted) and bank suction (dotted)

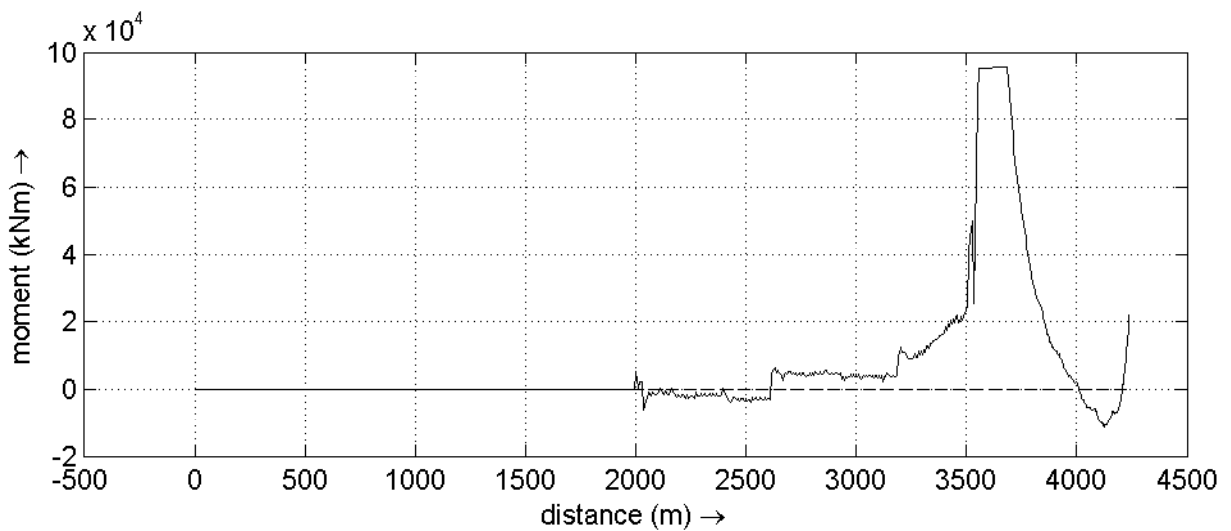
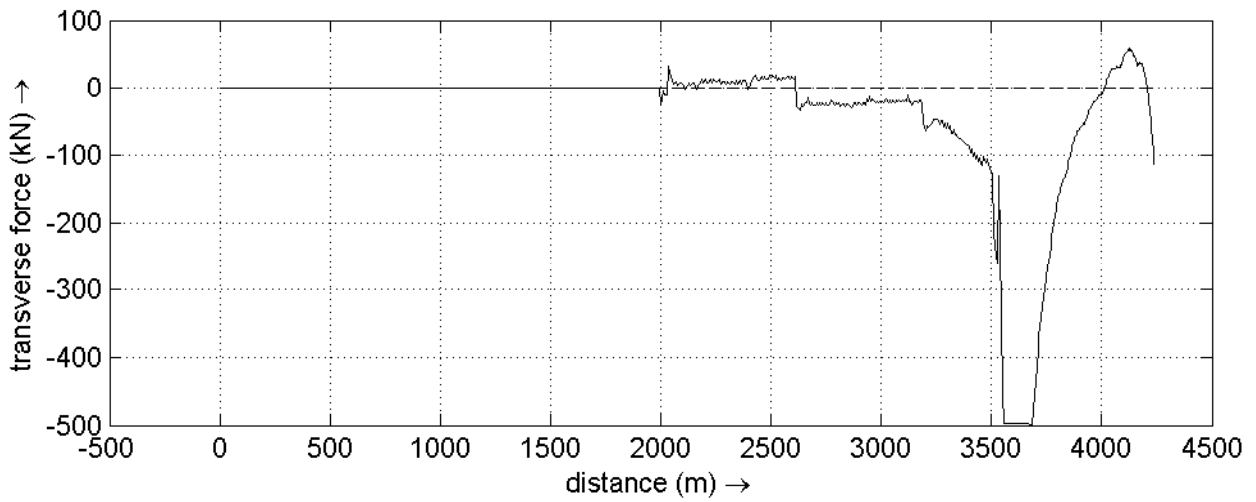
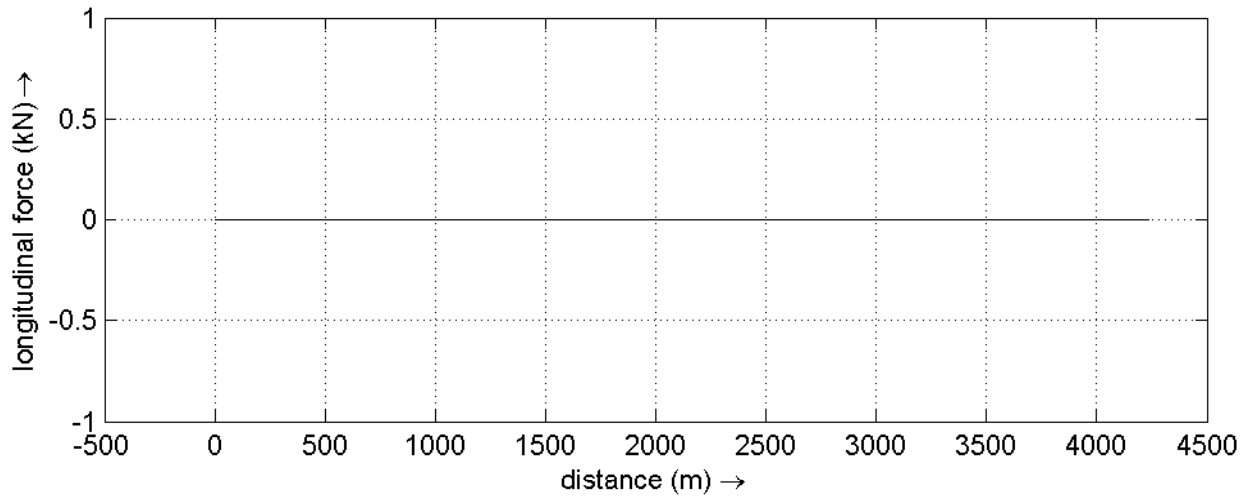
PB9376-Livorno

A15.1-W4-1xS

SHIPMA 7.4.0

Royal HaskoningDHV

Fig. D



Tug and thrusters forces plots
Tug forces (solid) and thruster forces (dashed)

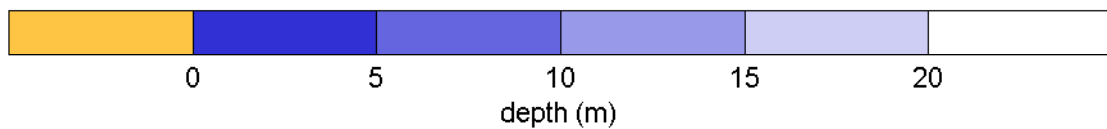
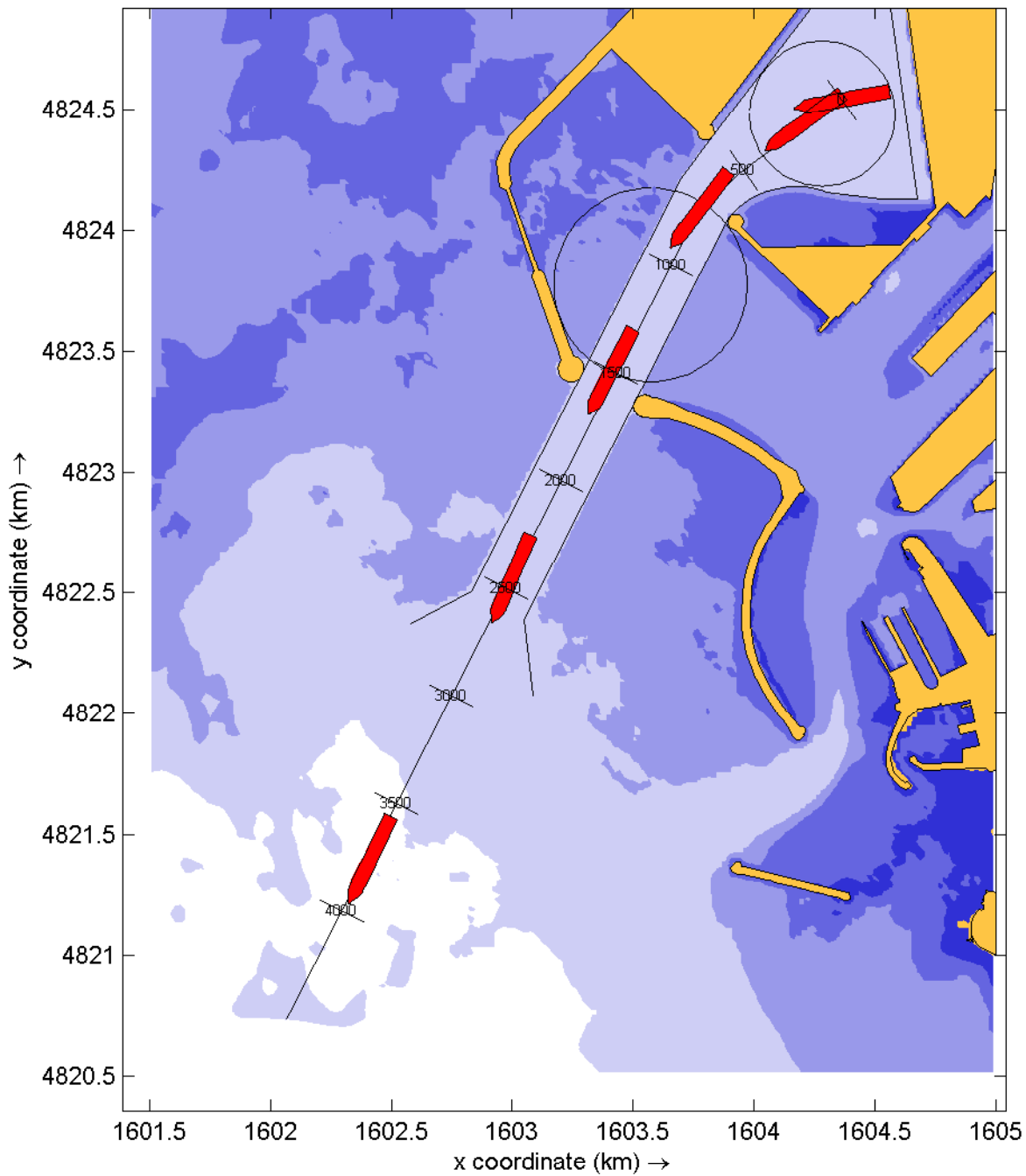
PB9376-Livorno

A15.1-W4-1xS

SHIPMA 7.4.0

Royal HaskoningDHV

Fig. E



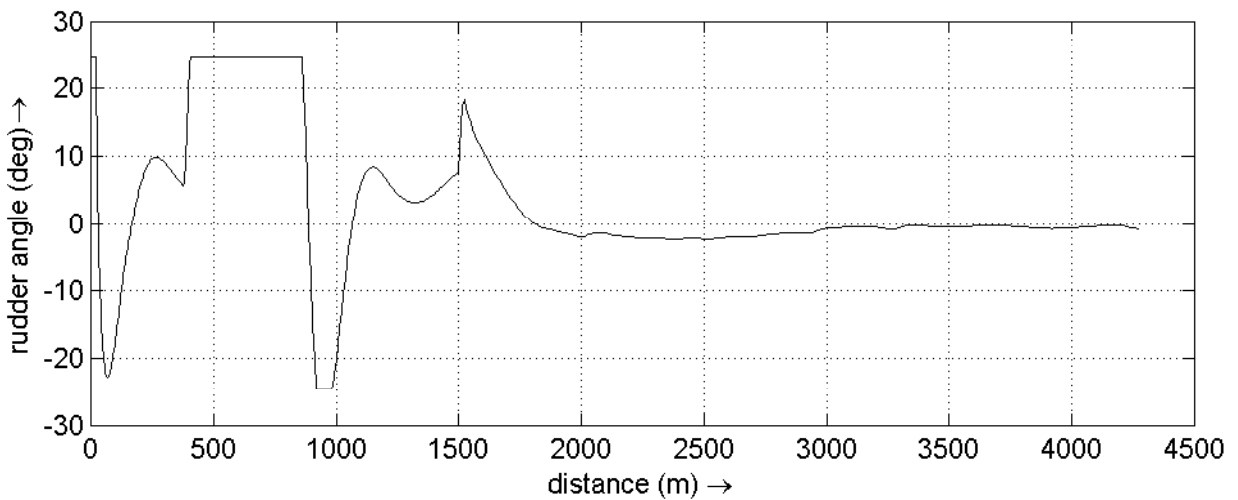
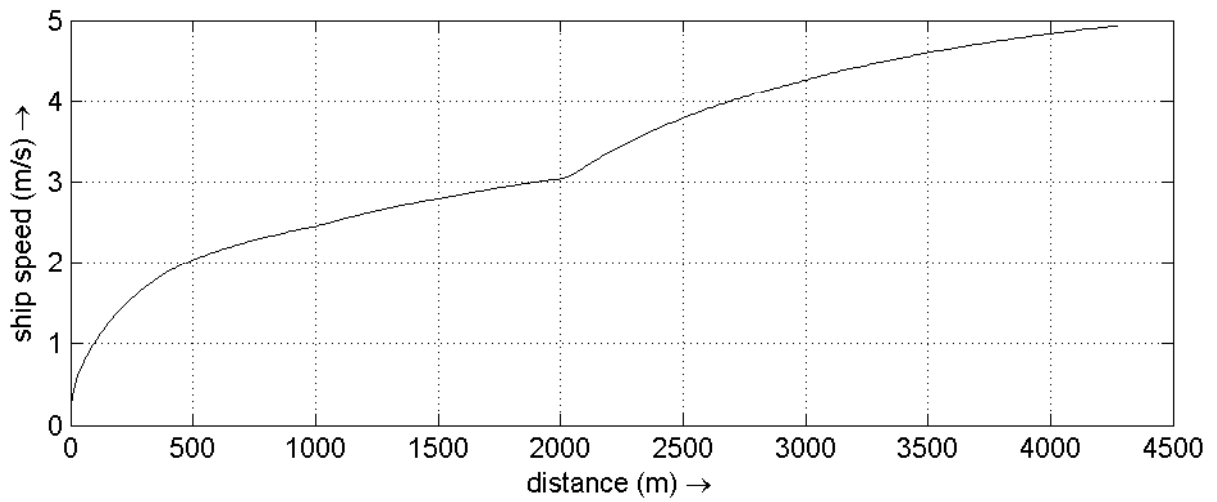
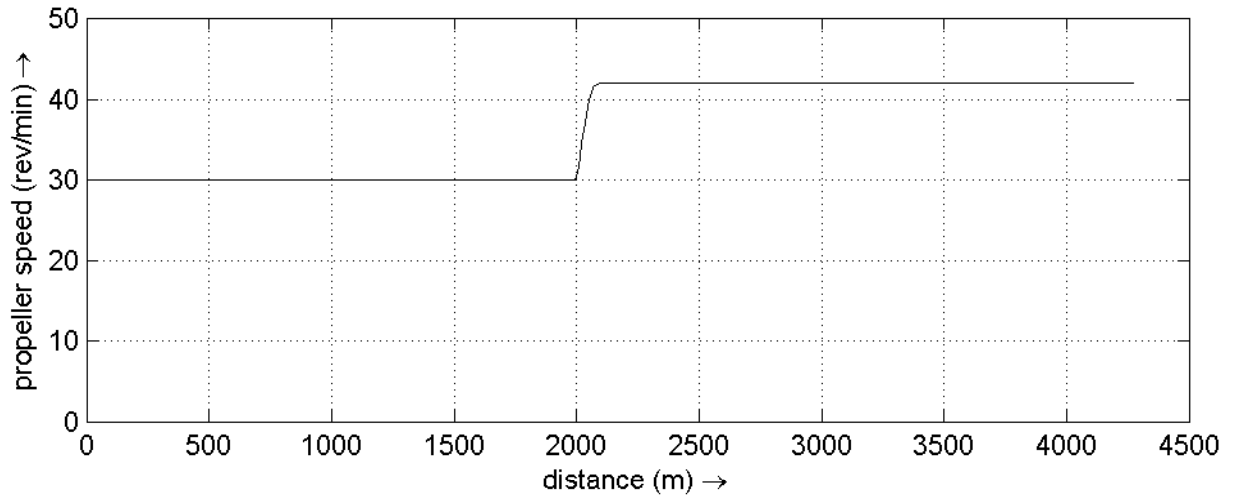
Overview plot of track and depth

PB9376-Livorno D12.3-WSC1-4xSB

SHIPMA 7.4.0

Royal HaskoningDHV

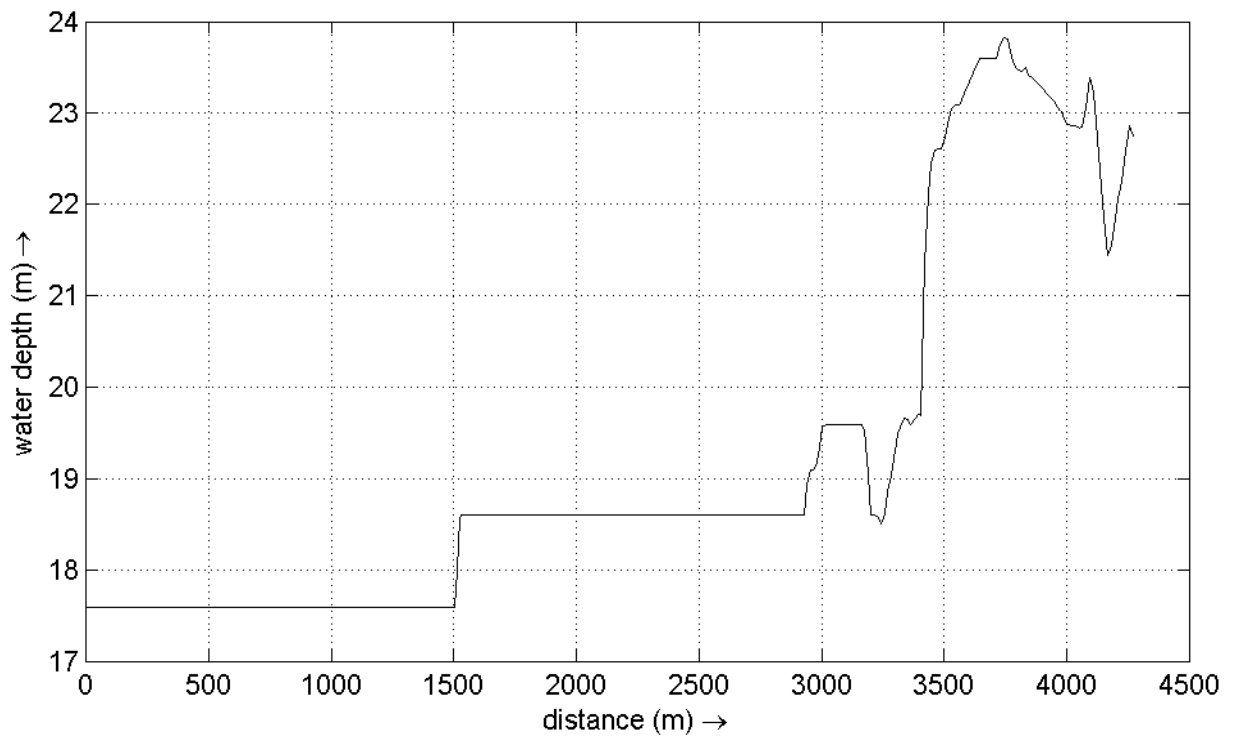
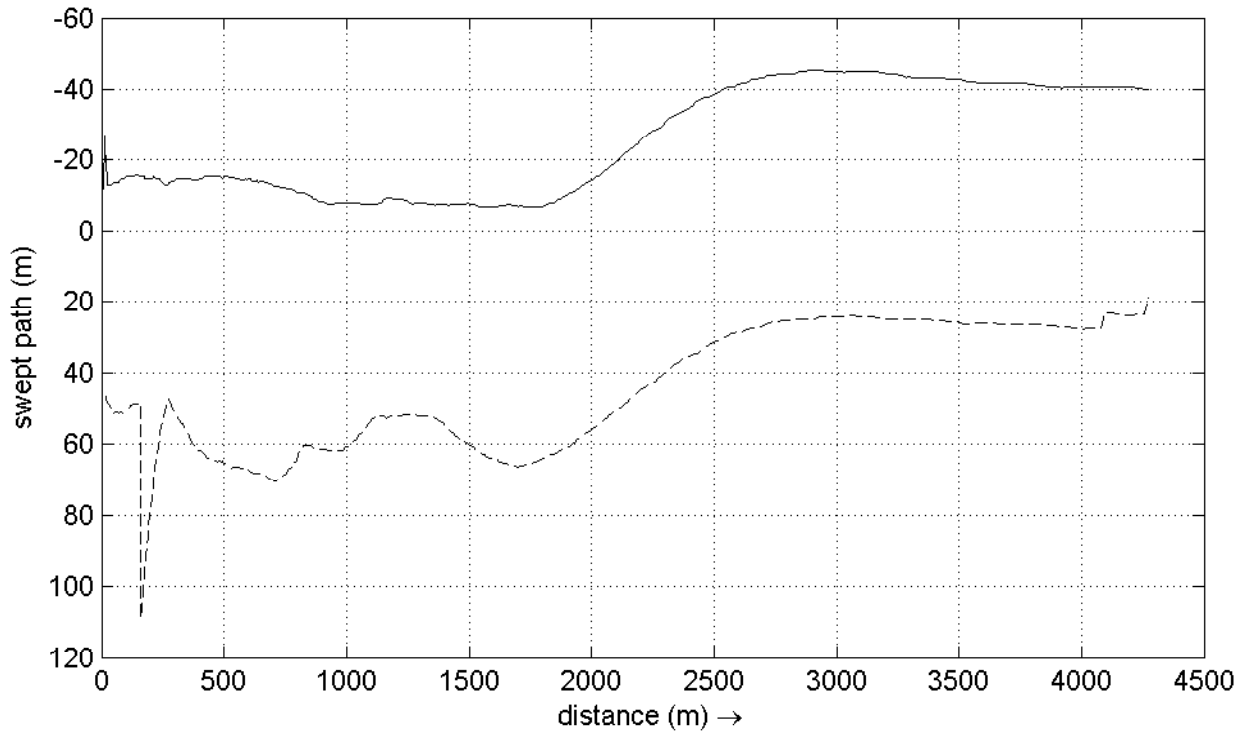
Fig. A



Propeller speed, ship speed and rudder angle plots

PB9376-Livorno D12.3-WSC1-4xSB

SHIPMA 7.4.0



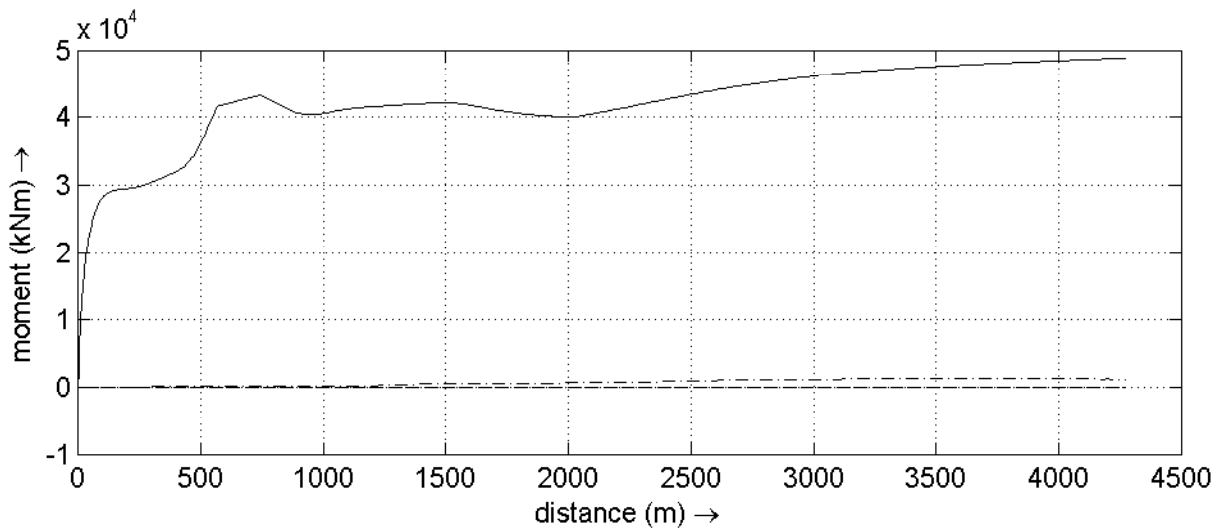
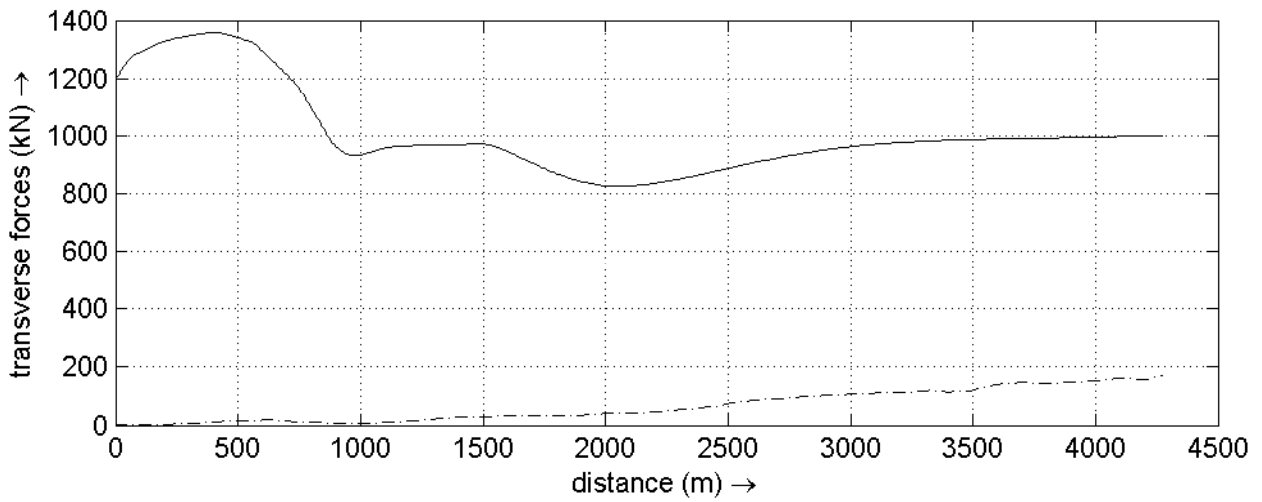
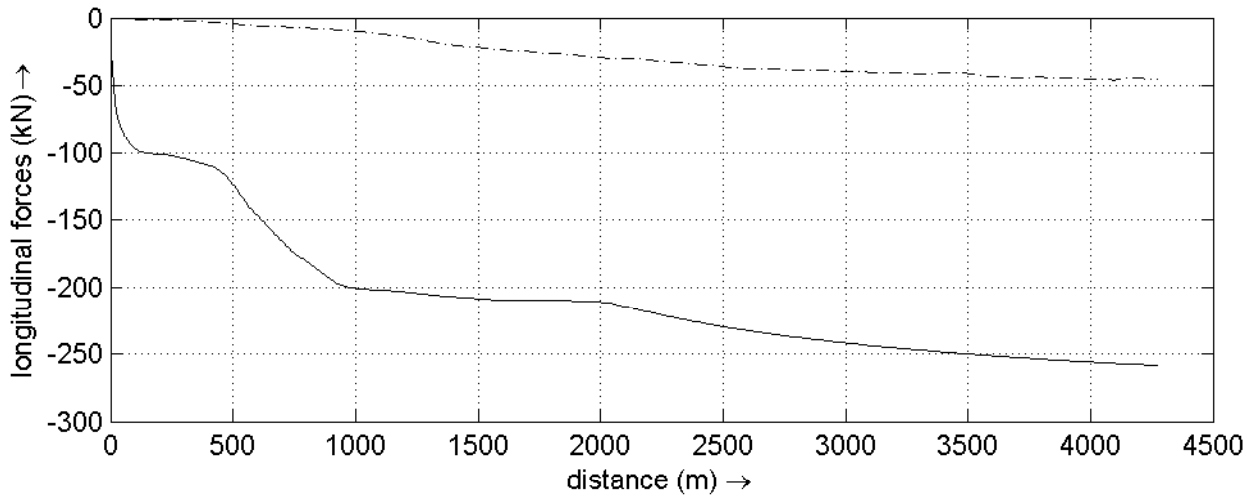
Swept path and depth along track
 Starboard side (dashed) port side (solid)

PB9376-Livorno D12.3-WSC1-4xSB

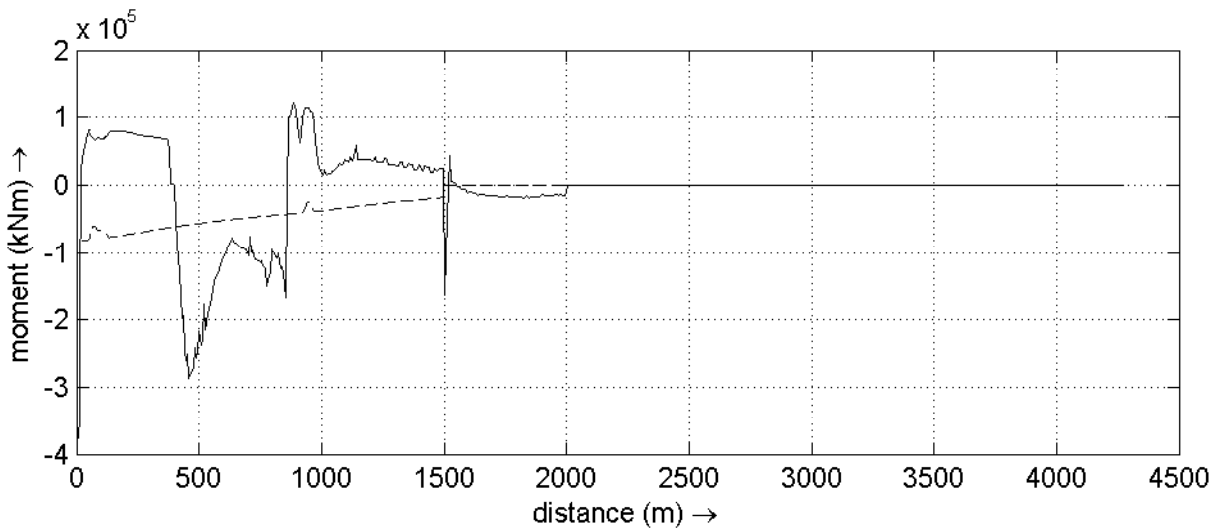
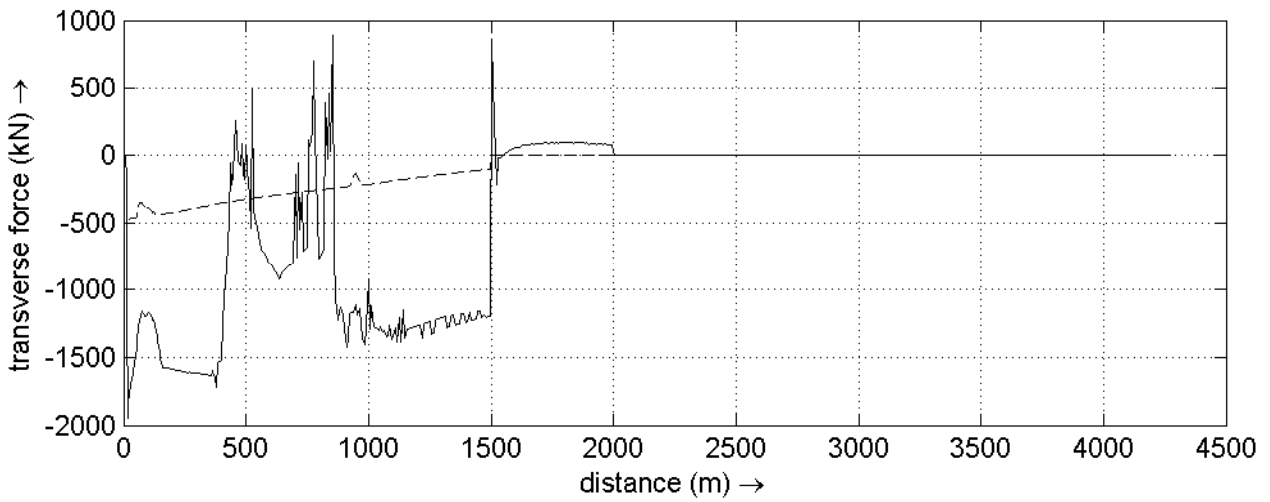
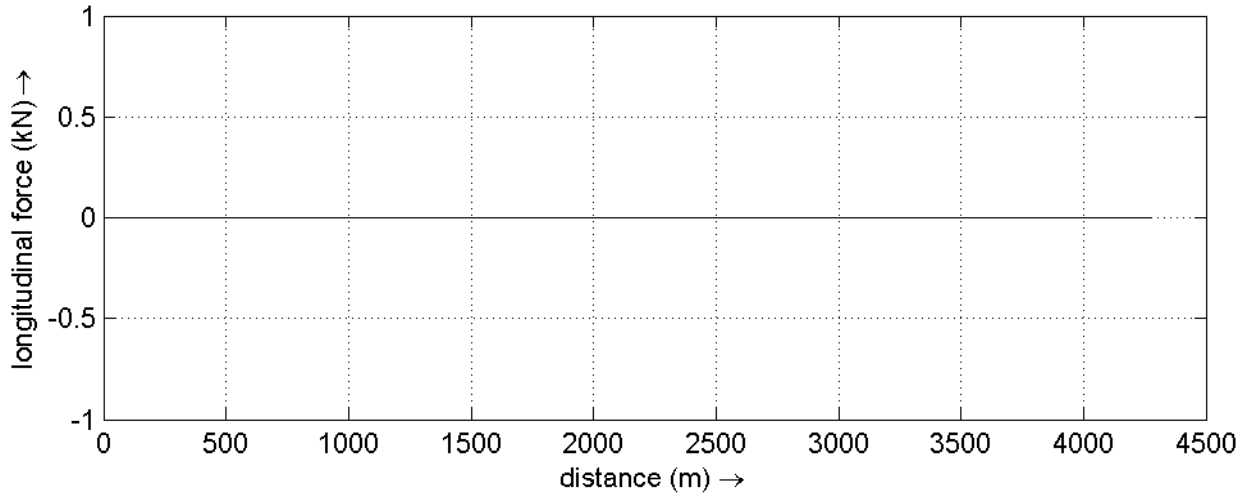
SHIPMA 7.4.0

Royal HaskoningDHV

Fig. C



External forces plots Wind (solid), waves (dashed), swell (dash-dotted) and bank suction (dotted)	PB9376-Livorno	D12.3-WSC1-4xSB
	SHIPMA 7.4.0	
Royal HaskoningDHV		Fig. D



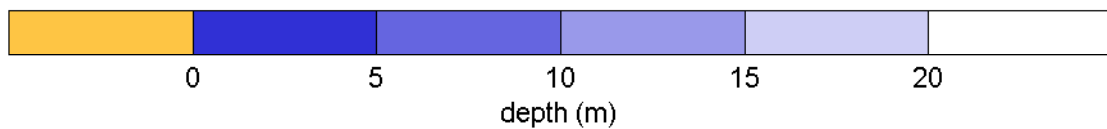
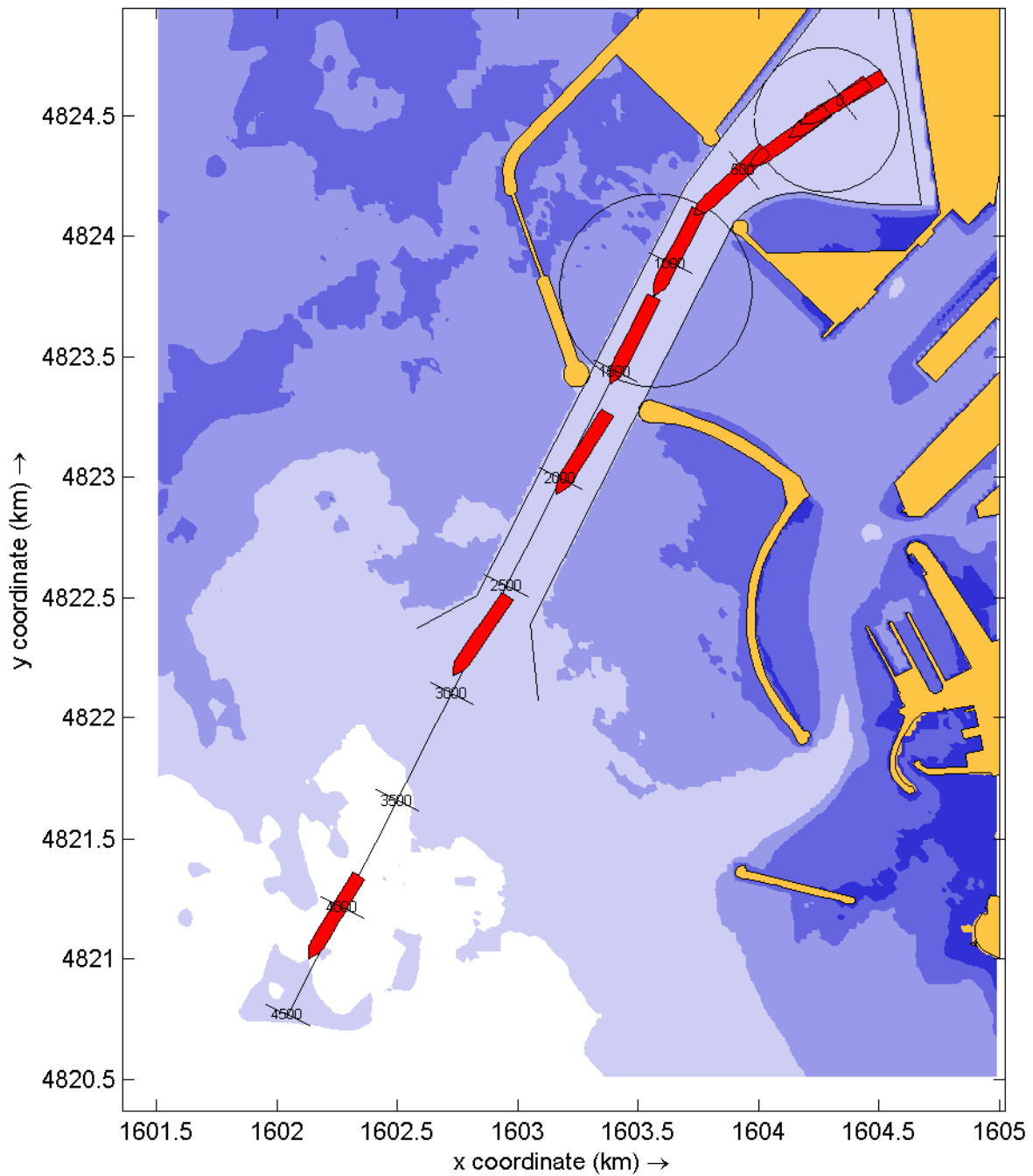
Tug and thrusters forces plots
Tug forces (solid) and thruster forces (dashed)

PB9376-Livorno D12.3-WSC1-4xSB

SHIPMA 7.4.0

Royal HaskoningDHV

Fig. E



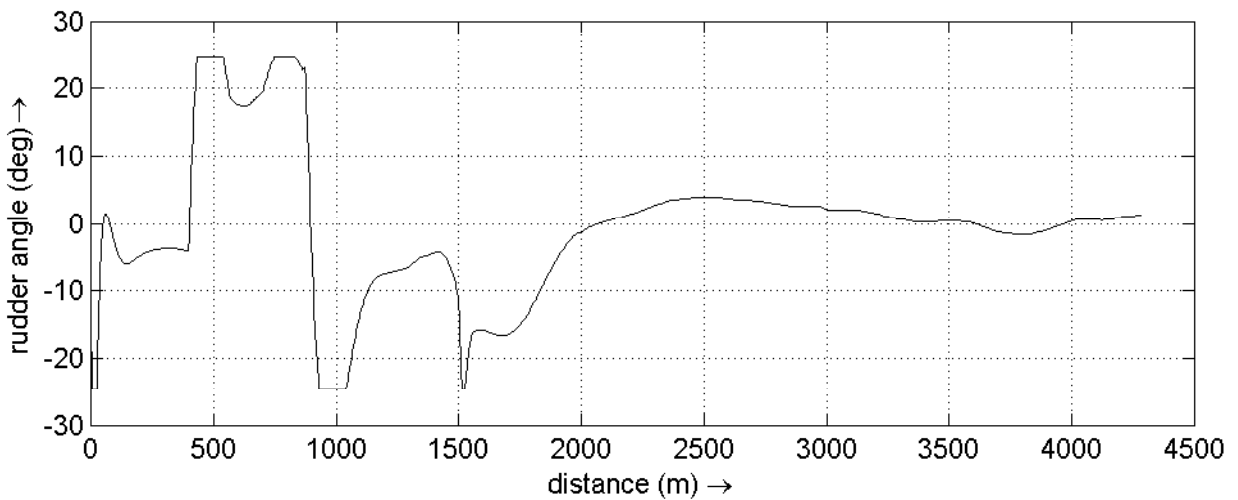
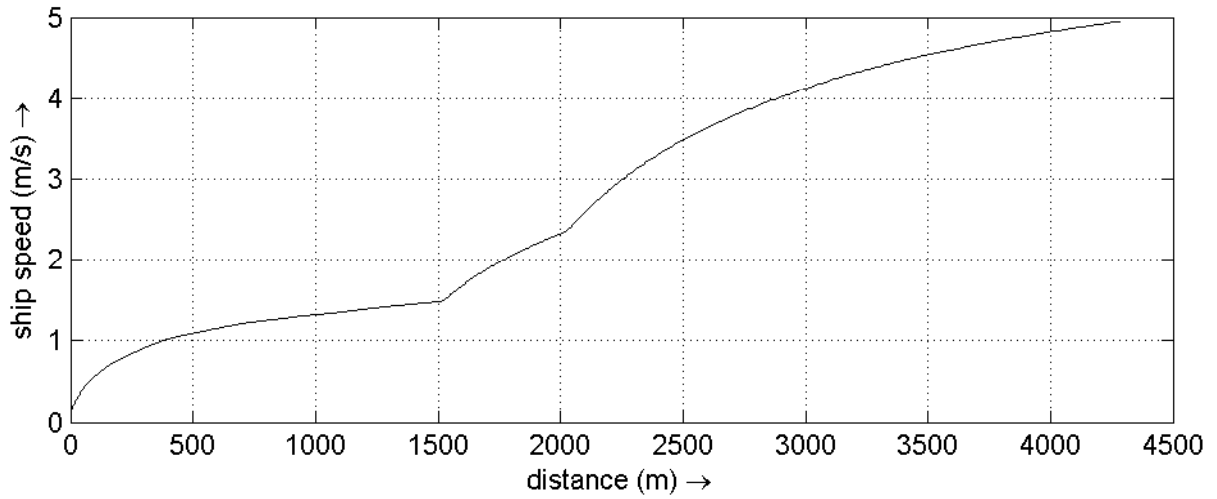
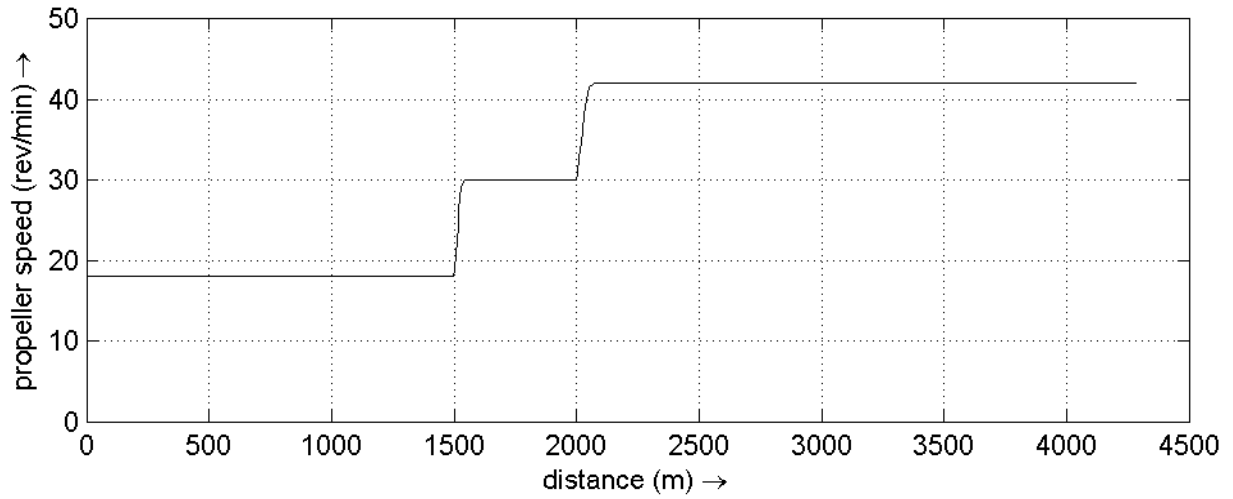
Overview plot of track and depth

PB9376-Livorno D13.7-WSC2-4xSB

SHIPMA 7.4.0

Royal HaskoningDHV

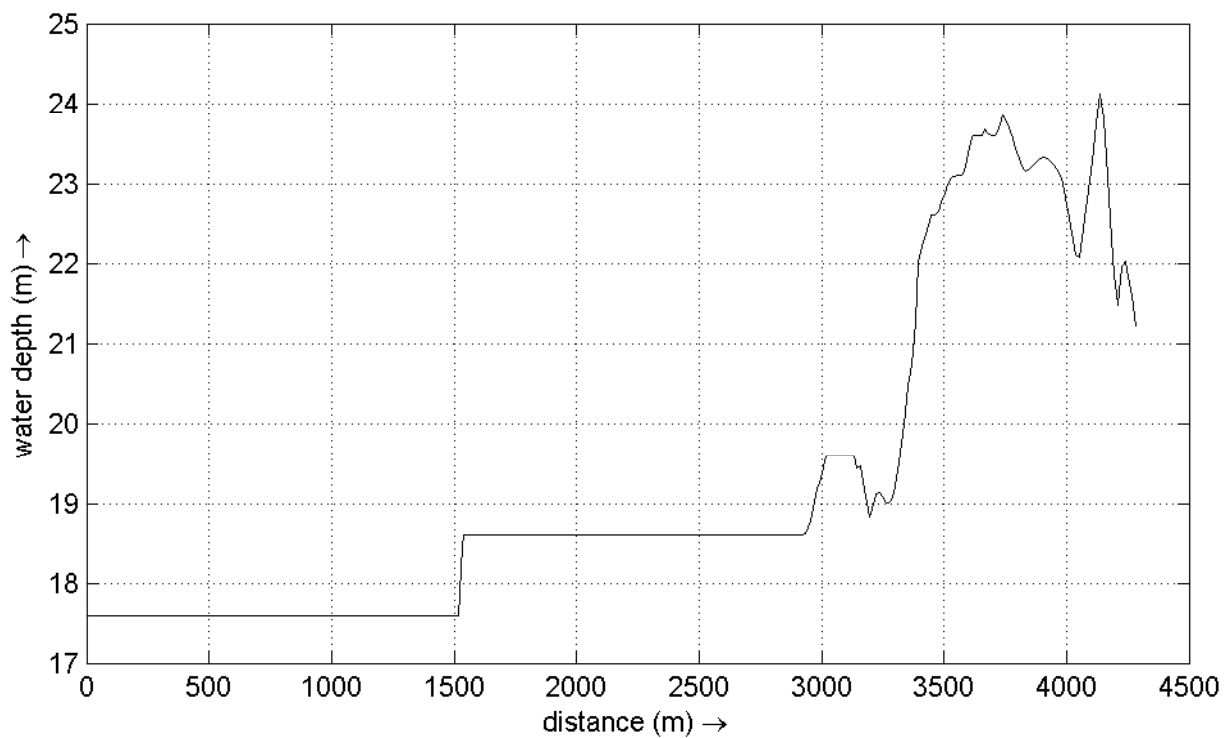
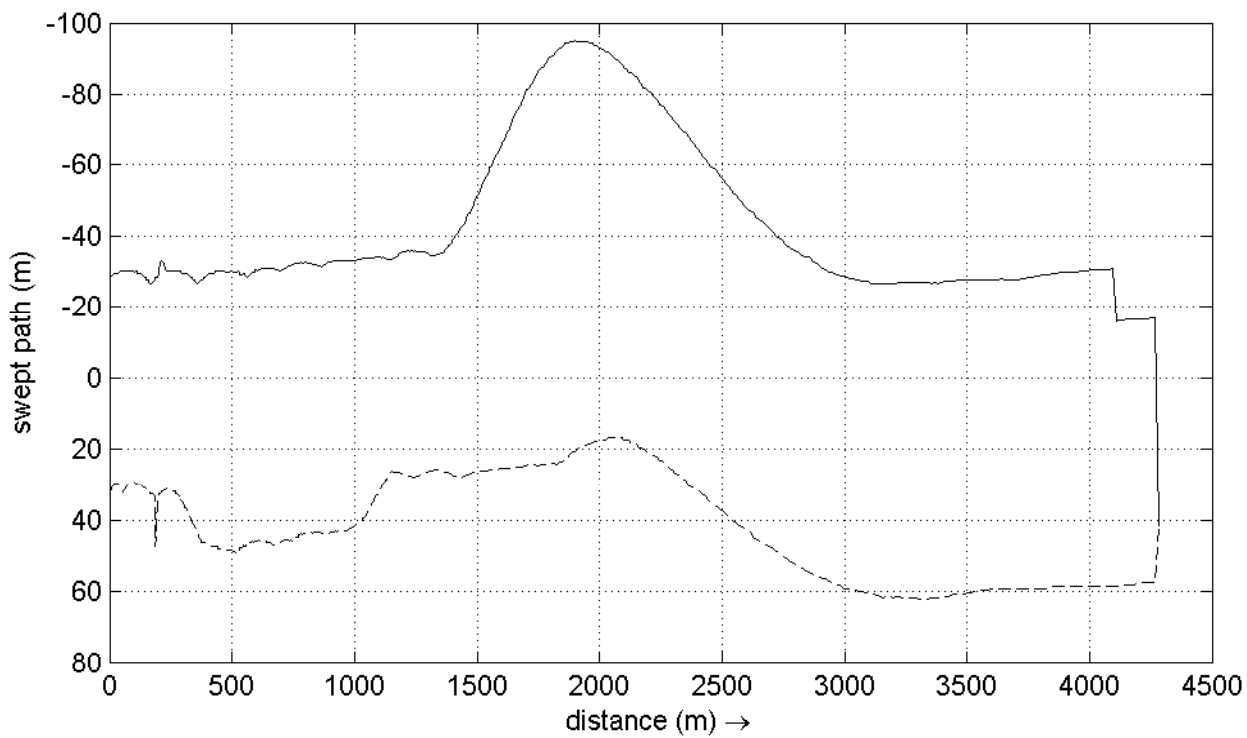
Fig. A



Propeller speed, ship speed and rudder angle plots

PB9376-Livorno D13.7-WSC2-4xSB

SHIPMA 7.4.0



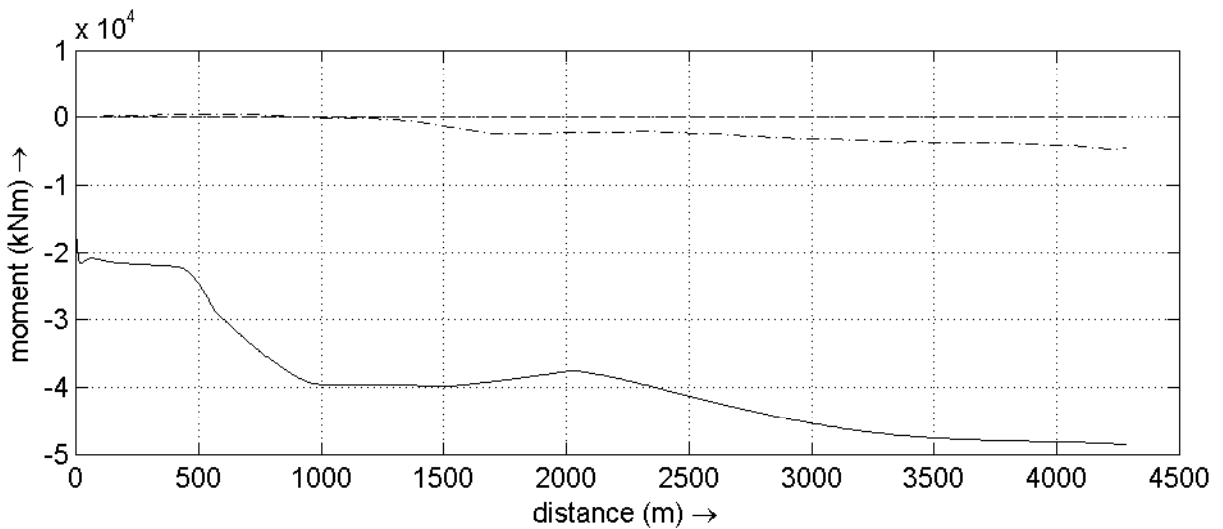
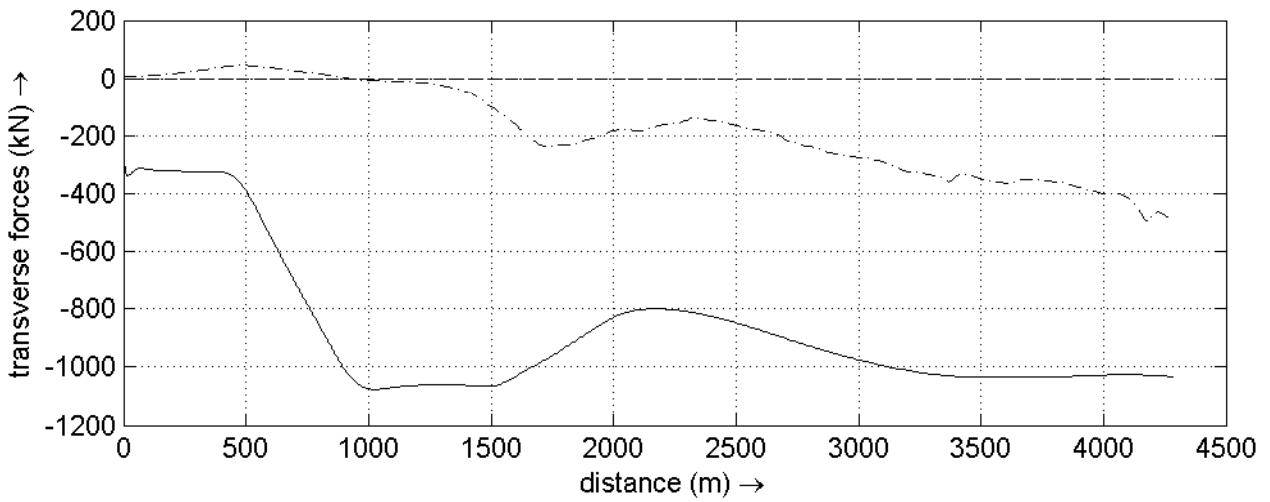
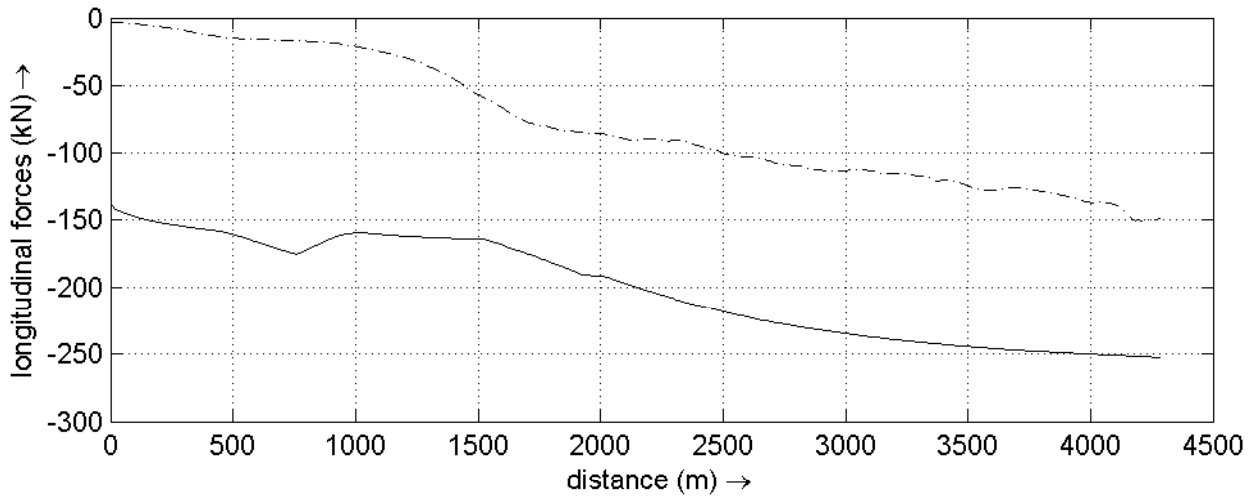
Swept path and depth along track
 Starboard side (dashed) port side (solid)

PB9376-Livorno D13.7-WSC2-4xSB

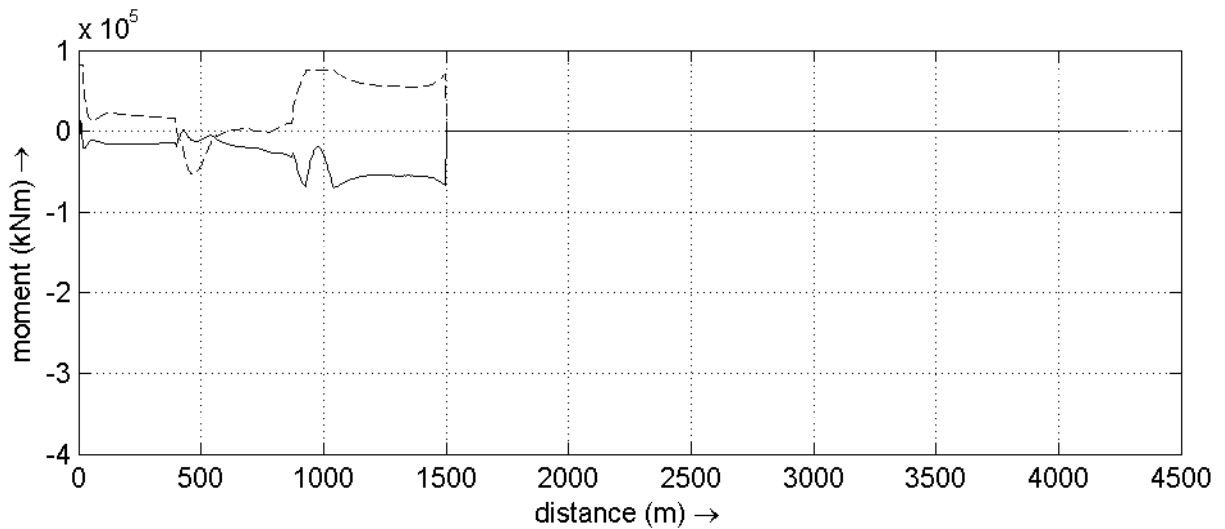
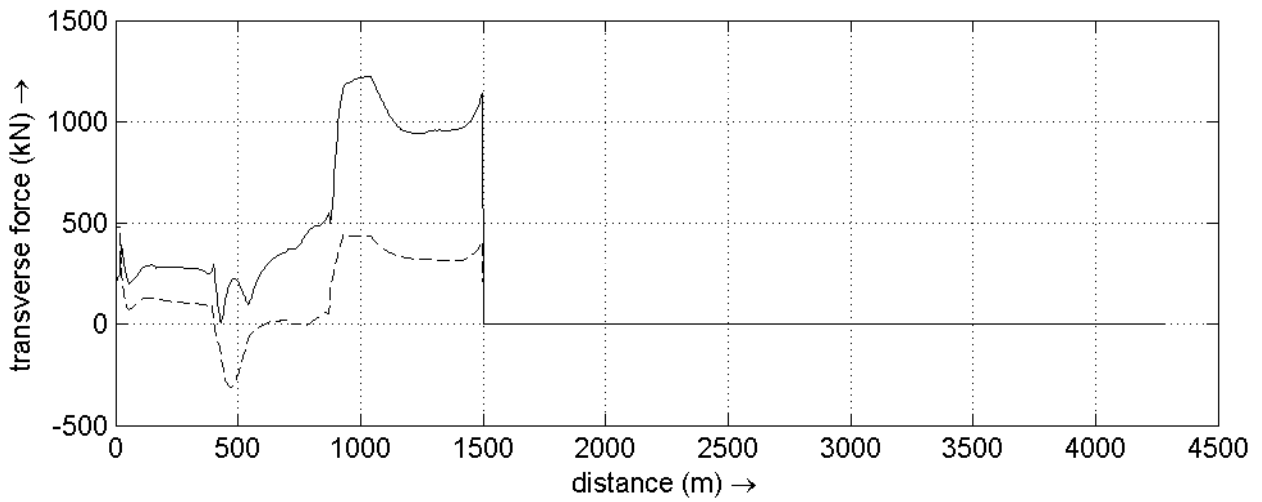
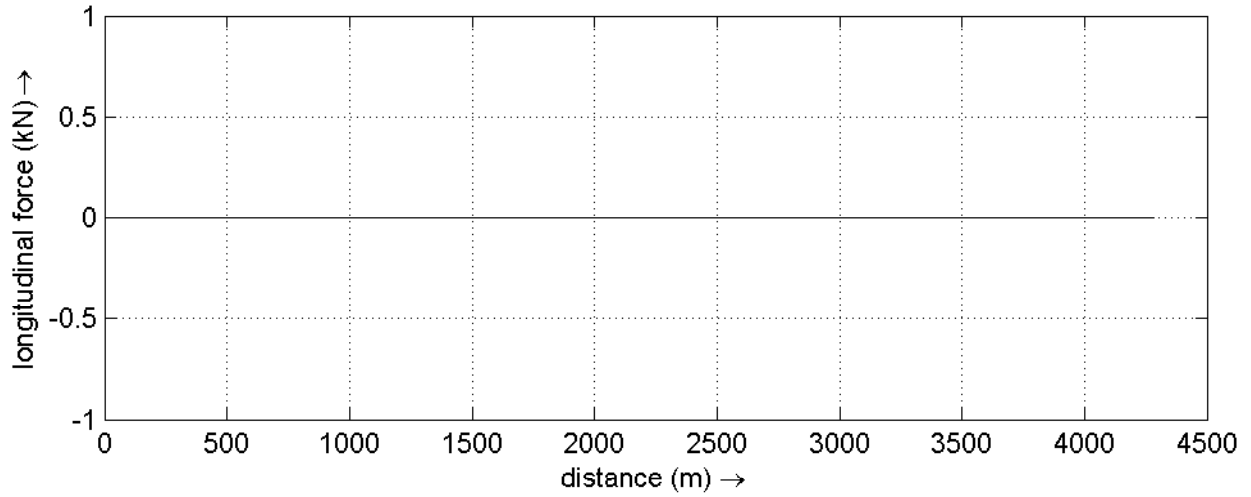
SHIPMA 7.4.0

Royal HaskoningDHV

Fig. C



External forces plots Wind (solid), waves (dashed), swell (dash-dotted) and bank suction (dotted)	PB9376-Livorno	D13.7-WSC2-4xSB
	SHIPMA 7.4.0	
Royal HaskoningDHV		Fig. D



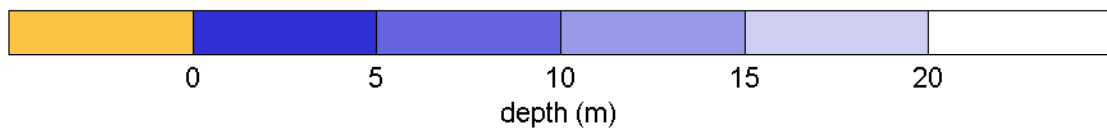
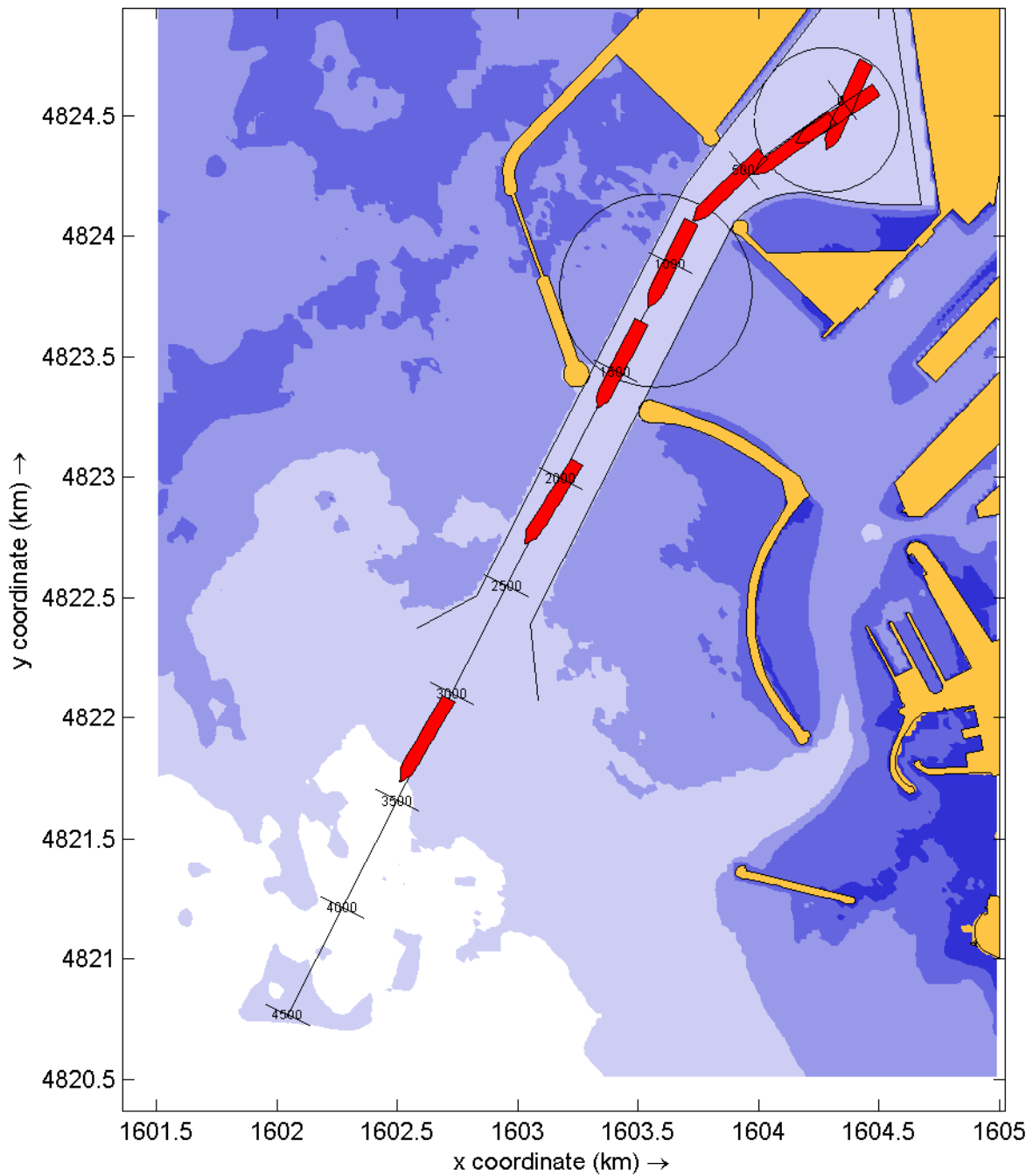
Tug and thrusters forces plots
Tug forces (solid) and thruster forces (dashed)

PB9376-Livorno D13.7-WSC2-4xSB

SHIPMA 7.4.0

Royal HaskoningDHV

Fig. E



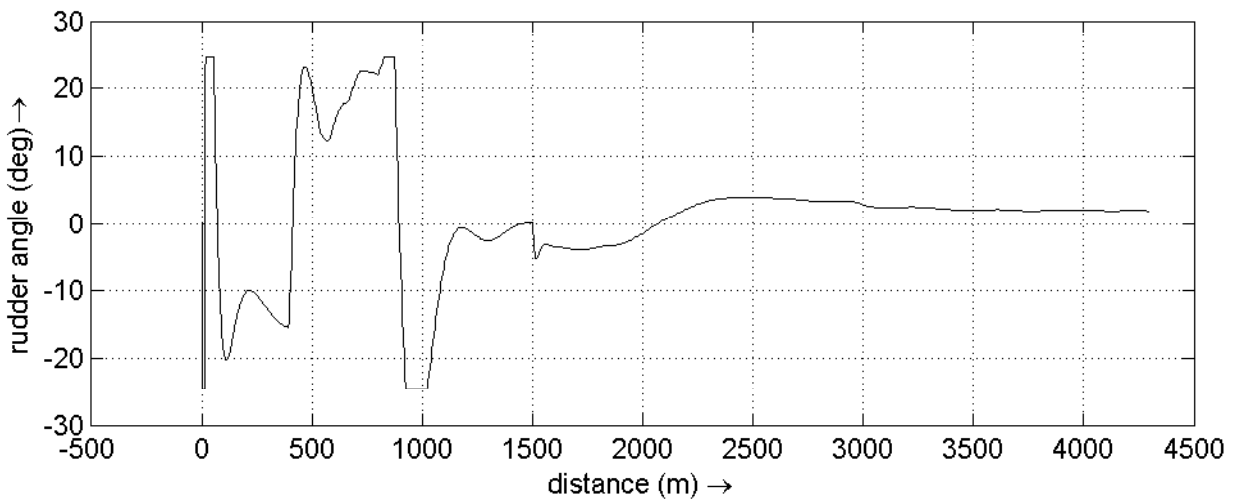
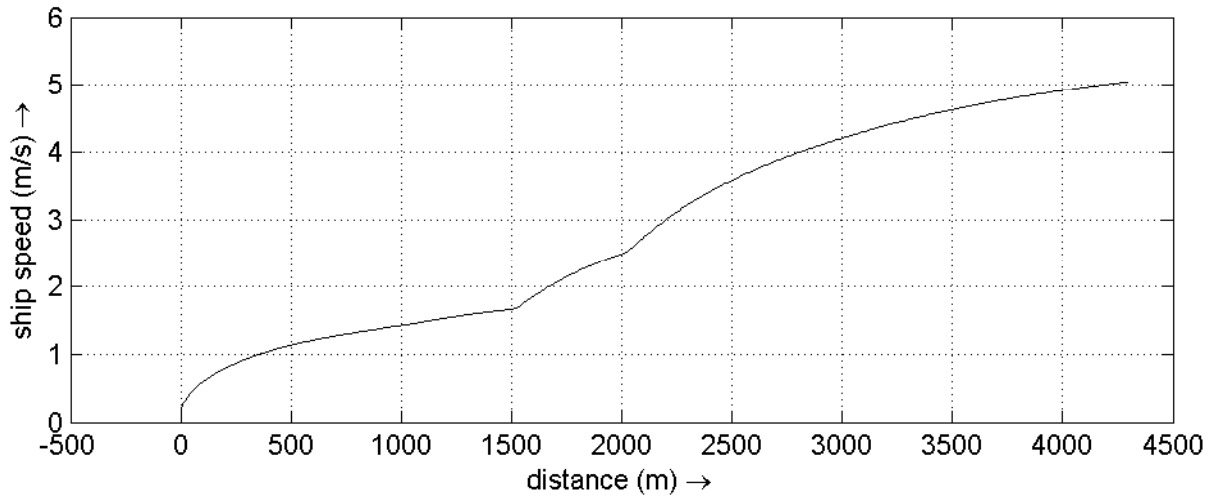
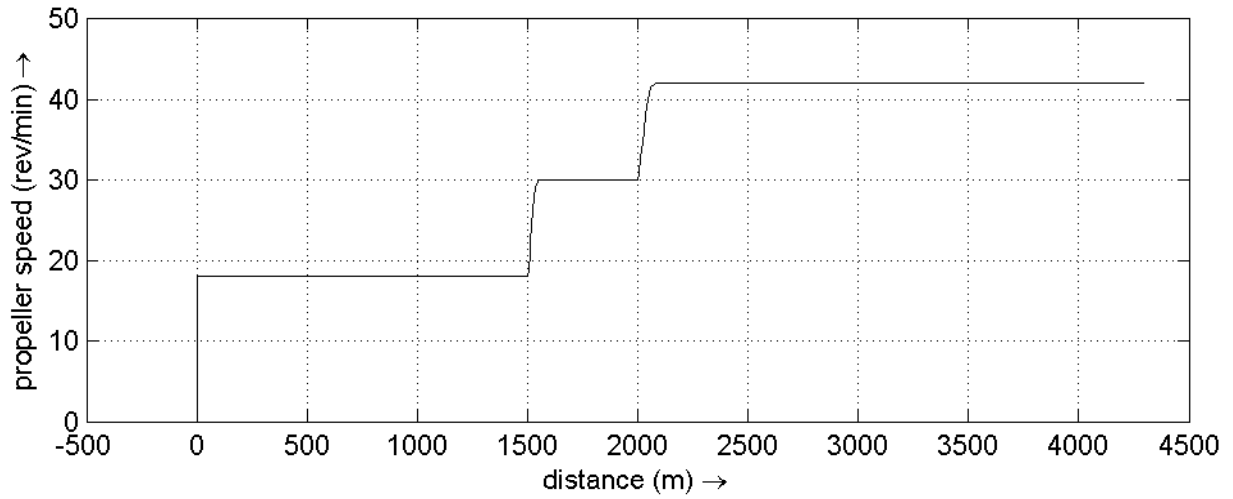
Overview plot of track and depth

PB9376-Livorno D14.3-WSC3-4xSB

SHIPMA 7.4.0

Royal HaskoningDHV

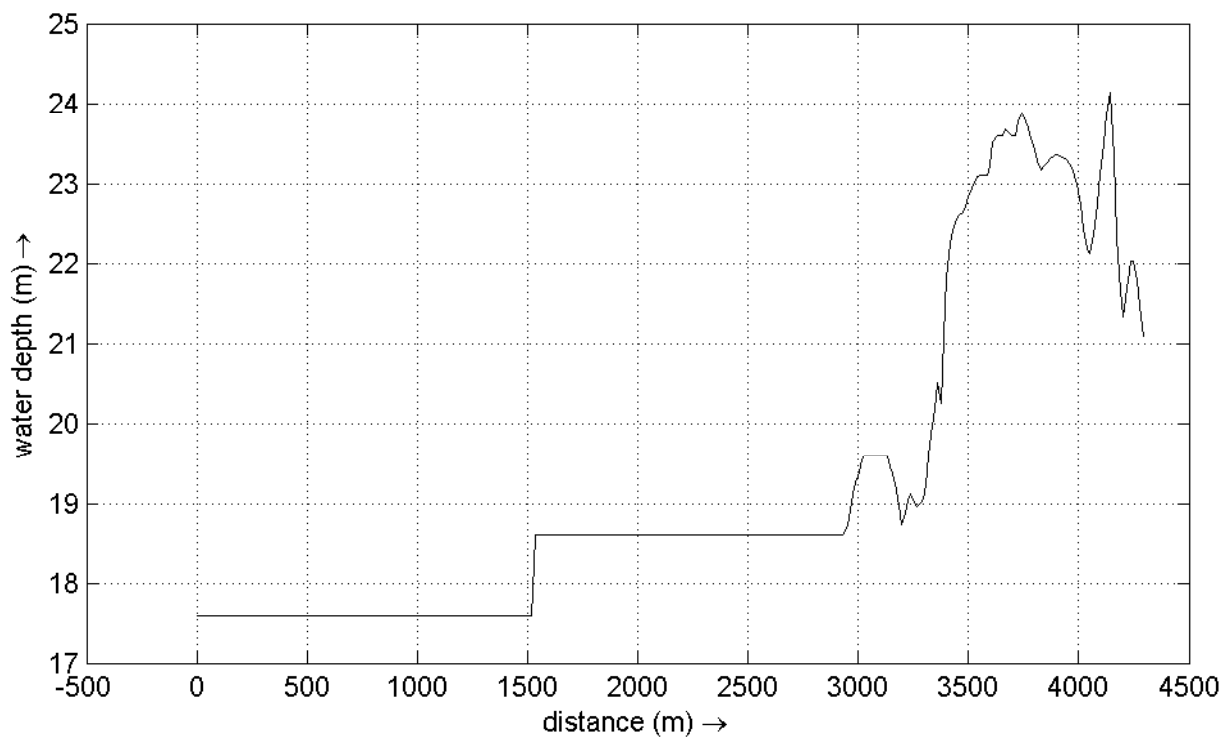
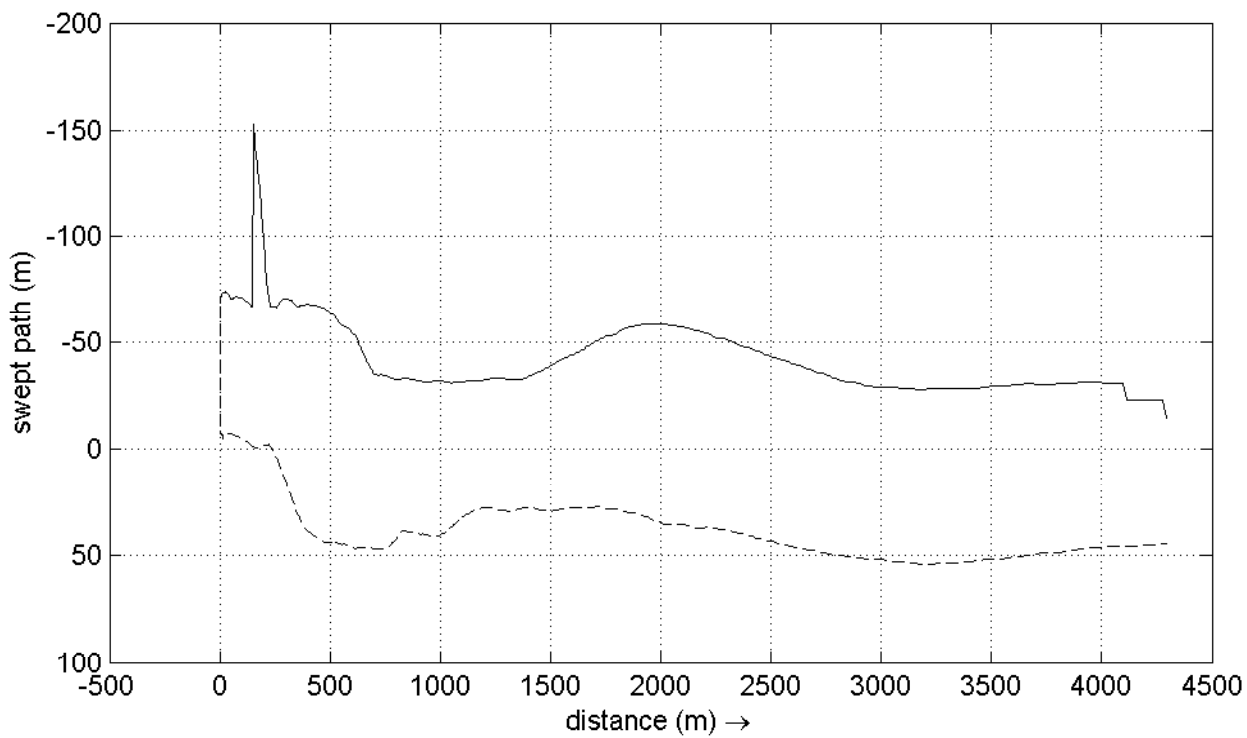
Fig. A



Propeller speed, ship speed and rudder angle plots

PB9376-Livorno D14.3-WSC3-4xSB

SHIPMA 7.4.0



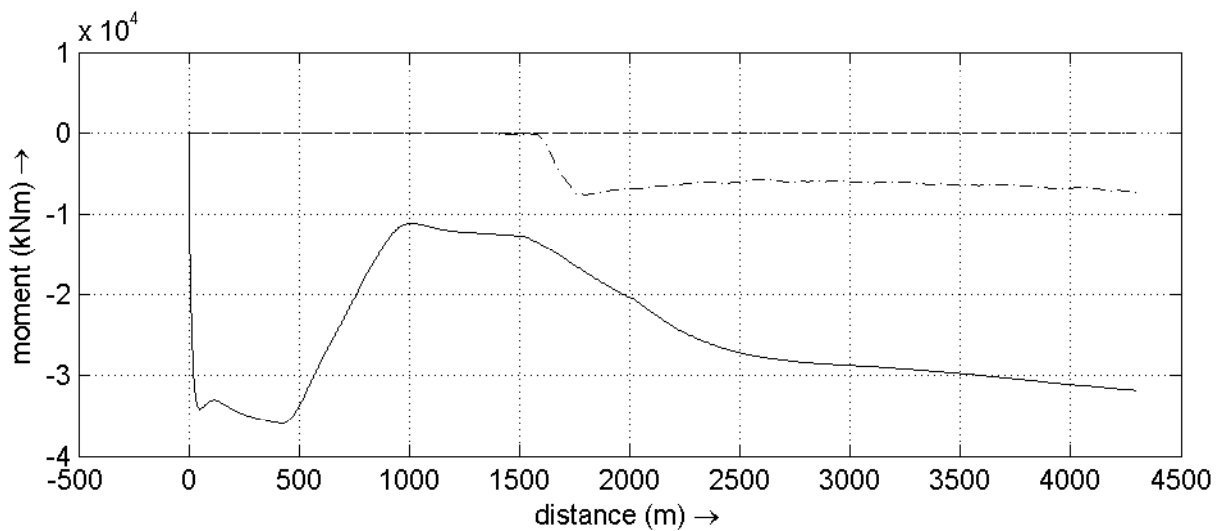
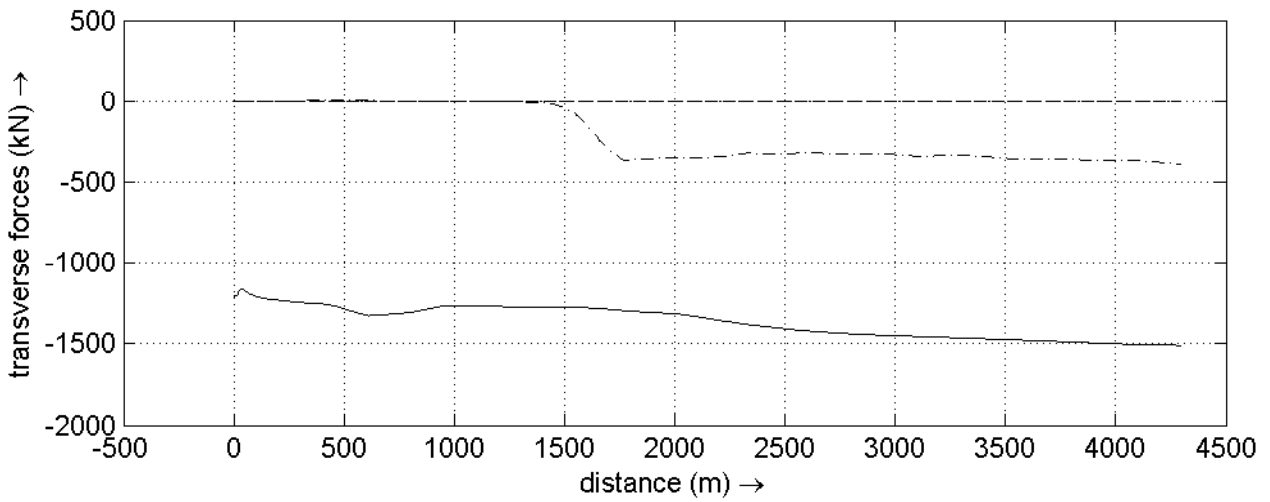
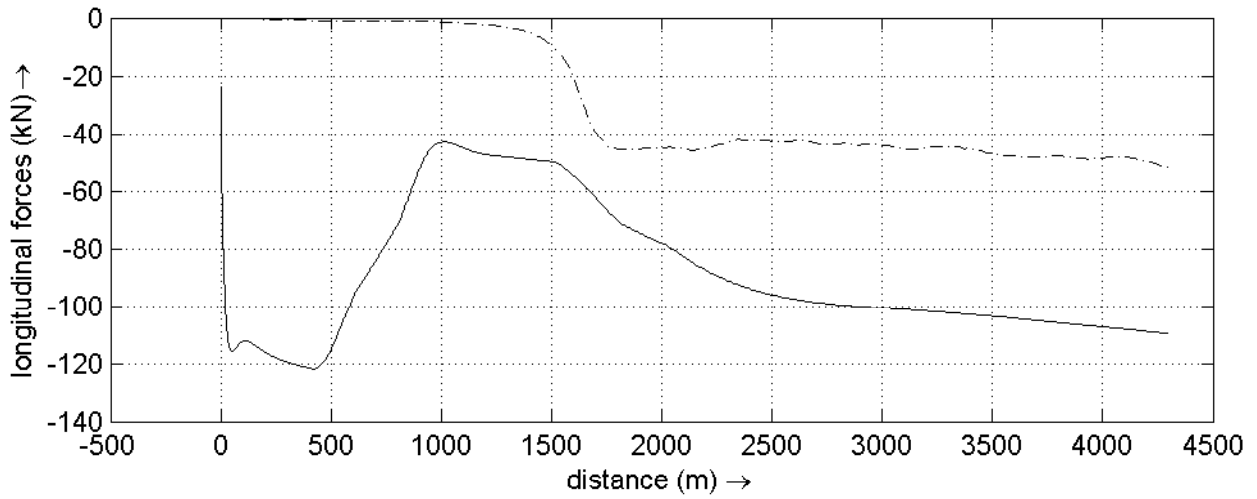
Swept path and depth along track
 Starboard side (dashed) port side (solid)

PB9376-Livorno D14.3-WSC3-4xSB

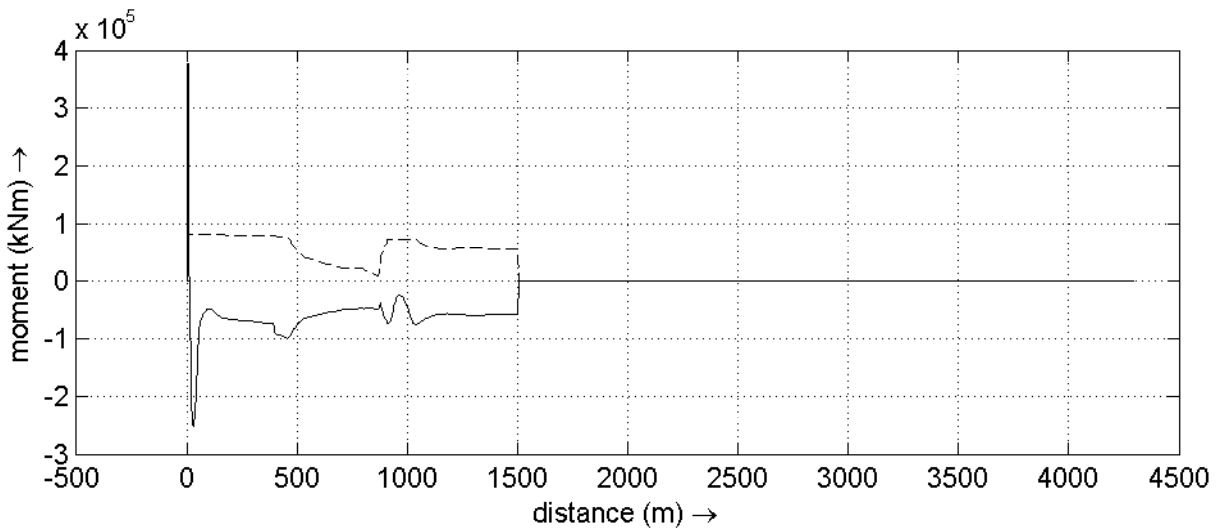
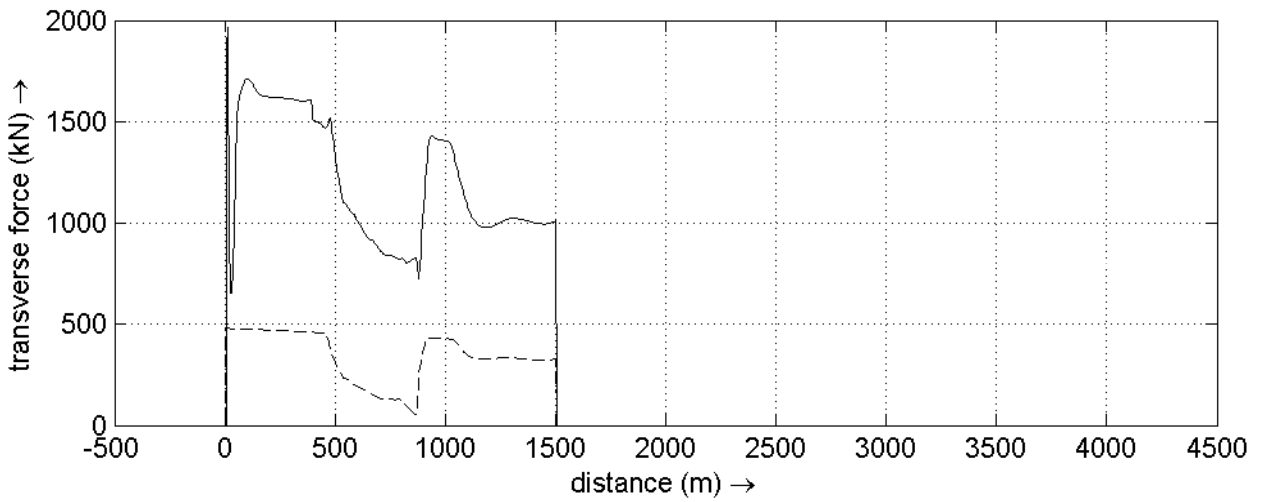
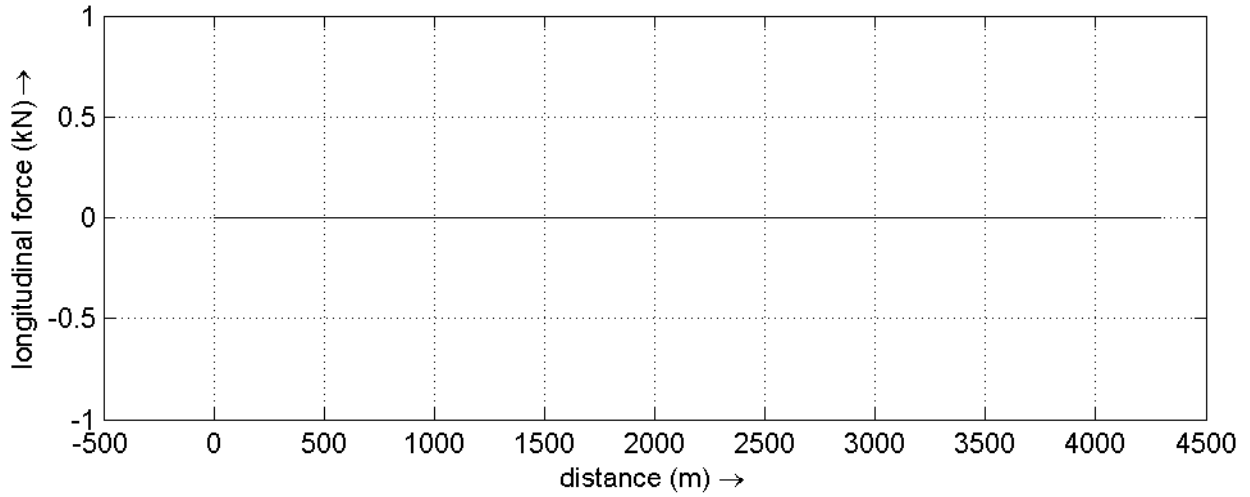
SHIPMA 7.4.0

Royal HaskoningDHV

Fig. C



External forces plots Wind (solid), waves (dashed), swell (dash-dotted) and bank suction (dotted)	PB9376-Livorno	D14.3-WSC3-4xSB
	SHIPMA 7.4.0	
Royal HaskoningDHV		Fig. D



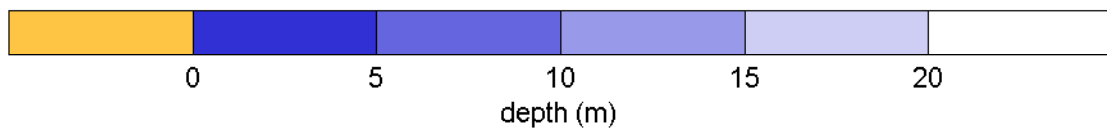
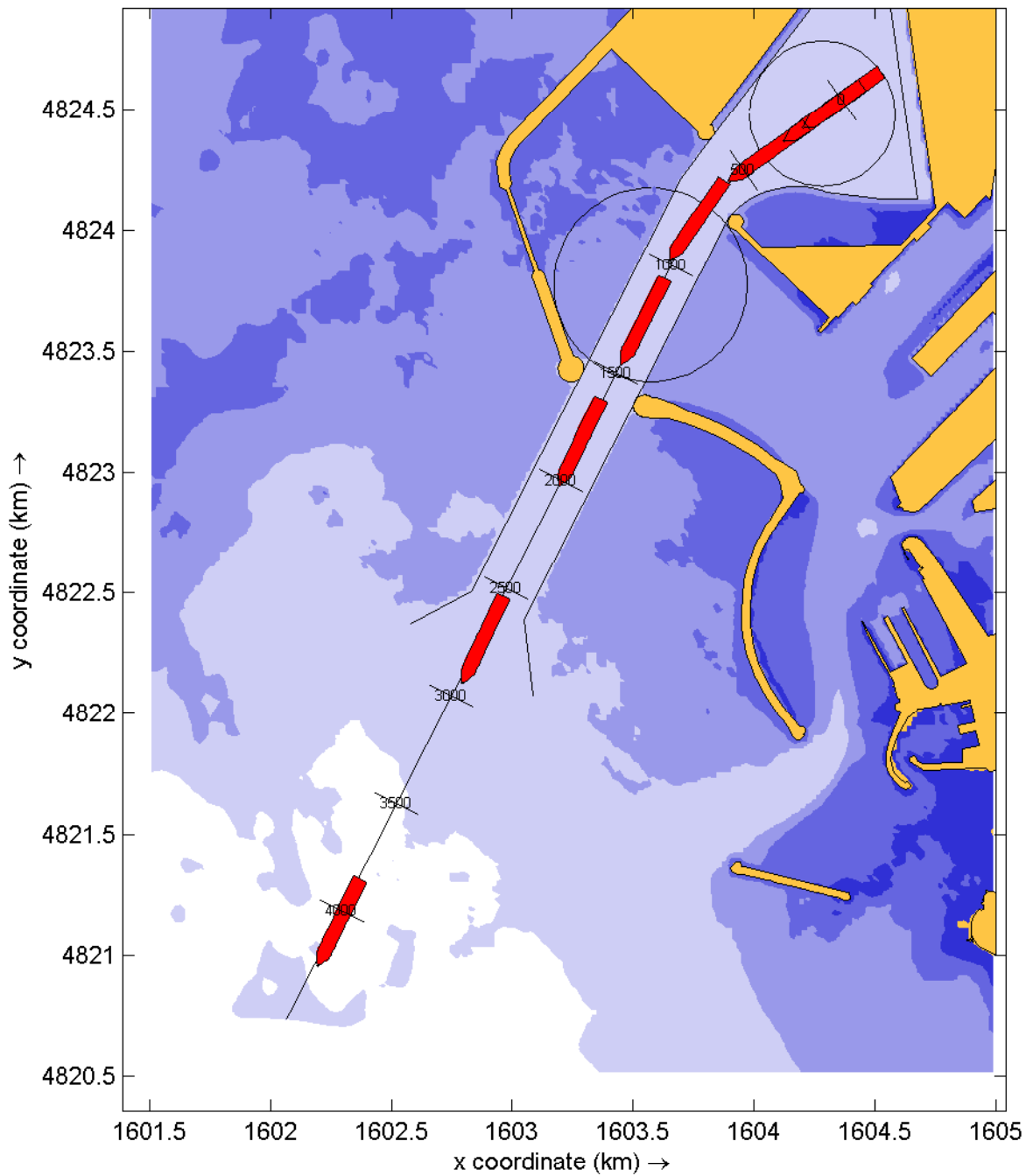
Tug and thrusters forces plots
Tug forces (solid) and thruster forces (dashed)

PB9376-Livorno D14.3-WSC3-4xSB

SHIPMA 7.4.0

Royal HaskoningDHV

Fig. E



Overview plot of track and depth

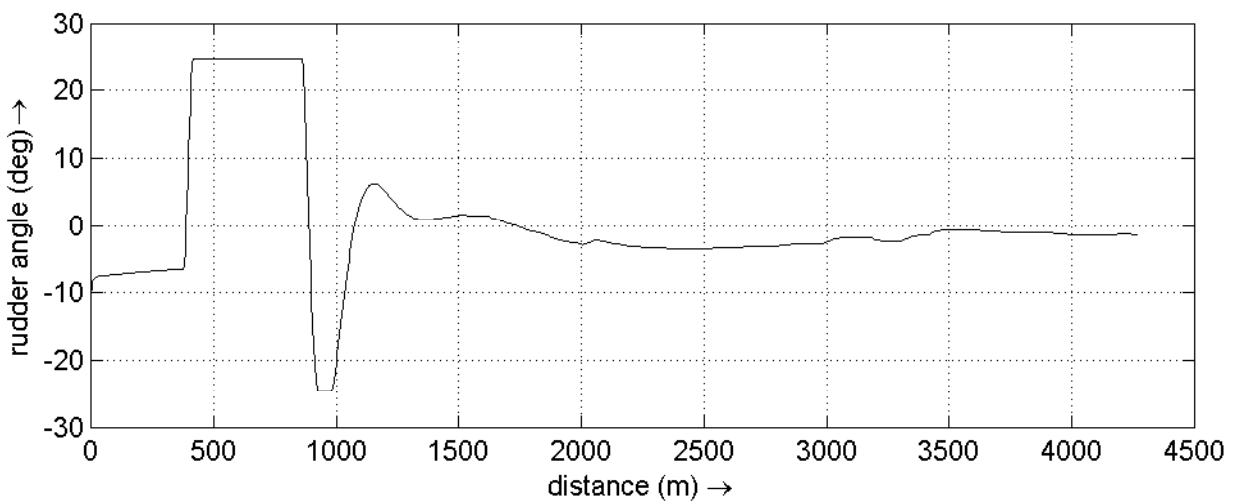
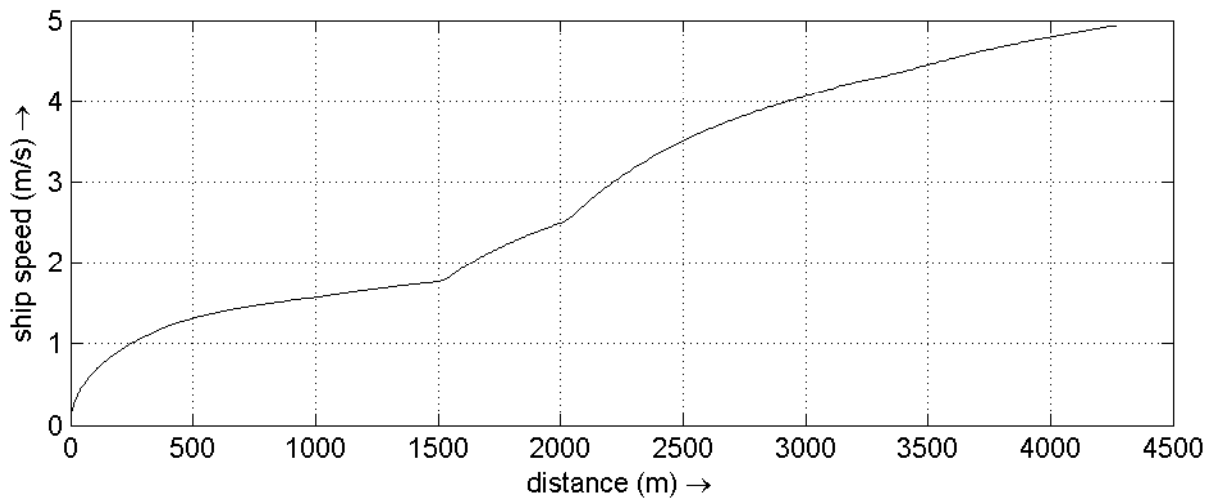
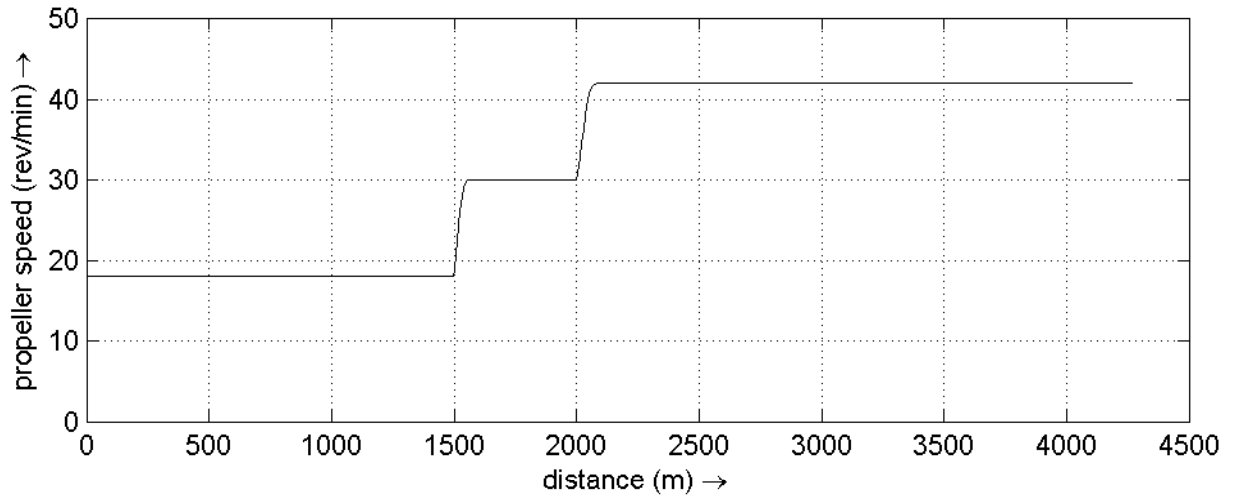
PB9376-Livorno

D15.3-W4-4xSB

SHIPMA 7.4.0

Royal HaskoningDHV

Fig. A



Propeller speed, ship speed and rudder angle plots

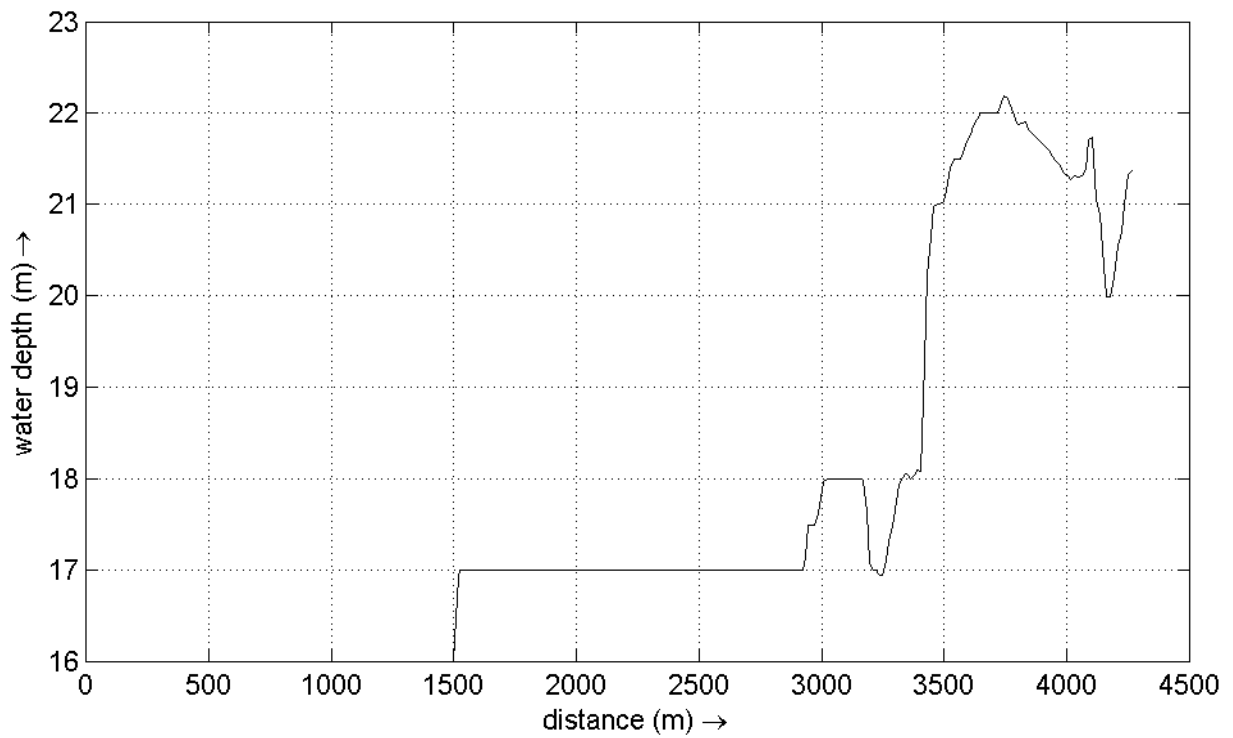
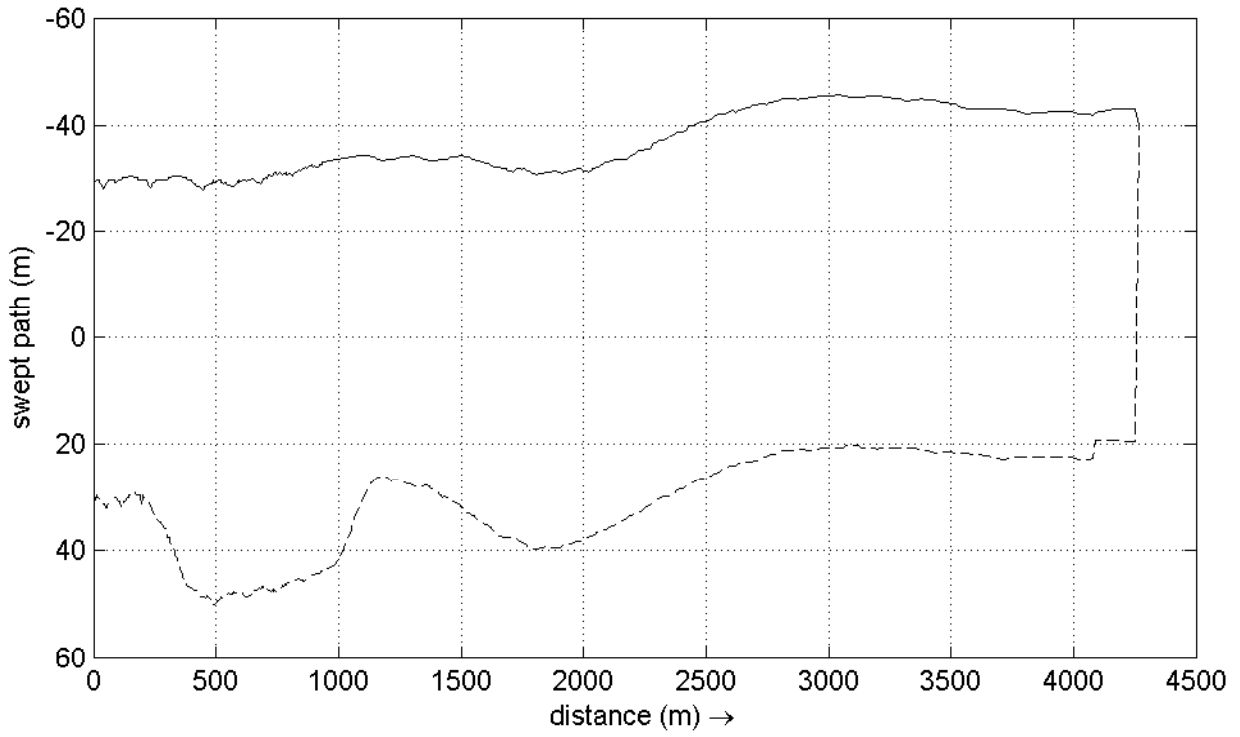
PB9376-Livorno

D15.3-W4-4xSB

SHIPMA 7.4.0

Royal HaskoningDHV

Fig. B



Swept path and depth along track
Starboard side (dashed) port side (solid)

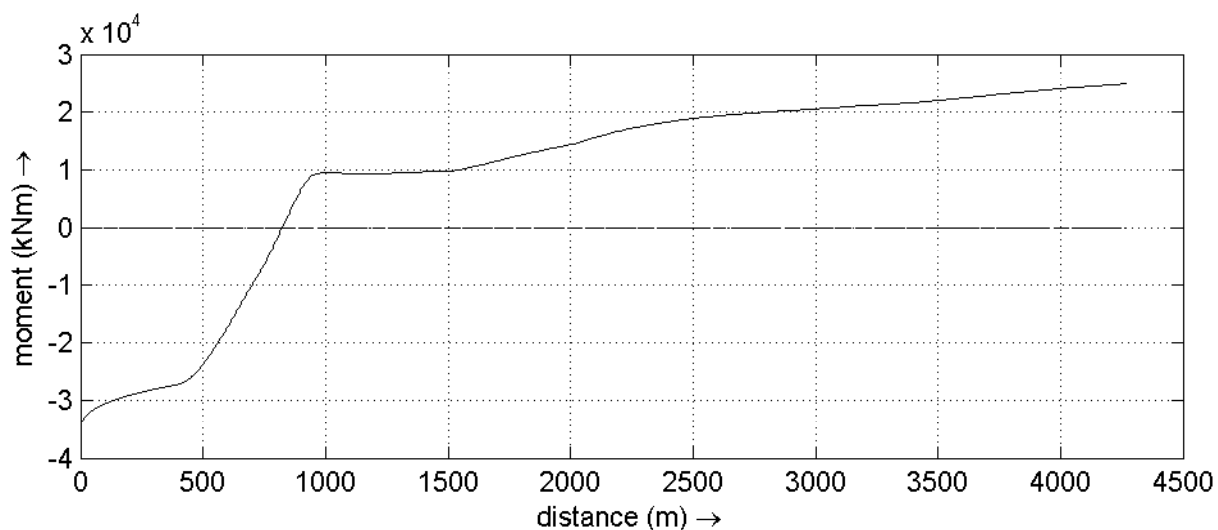
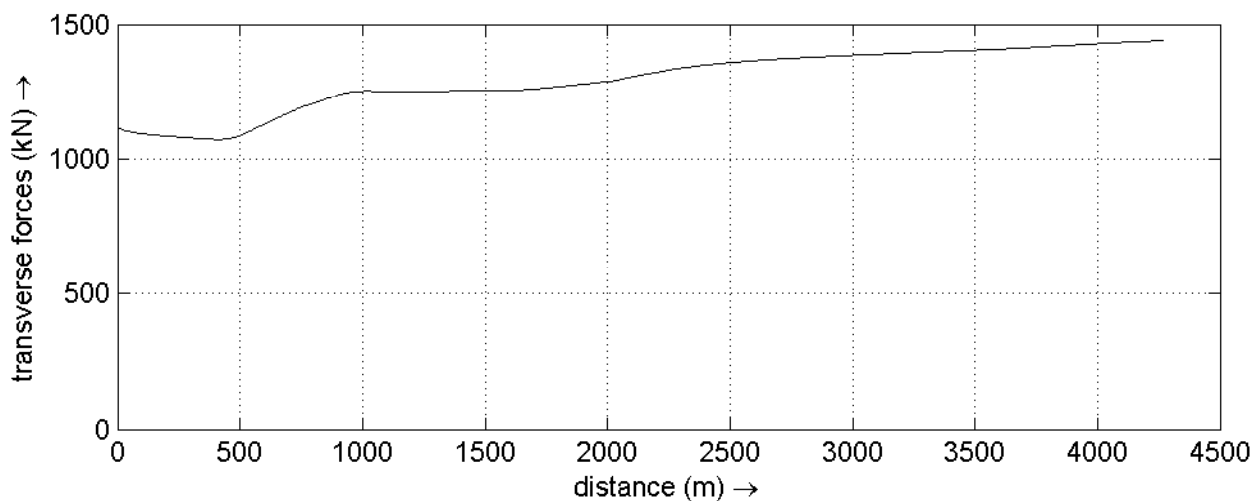
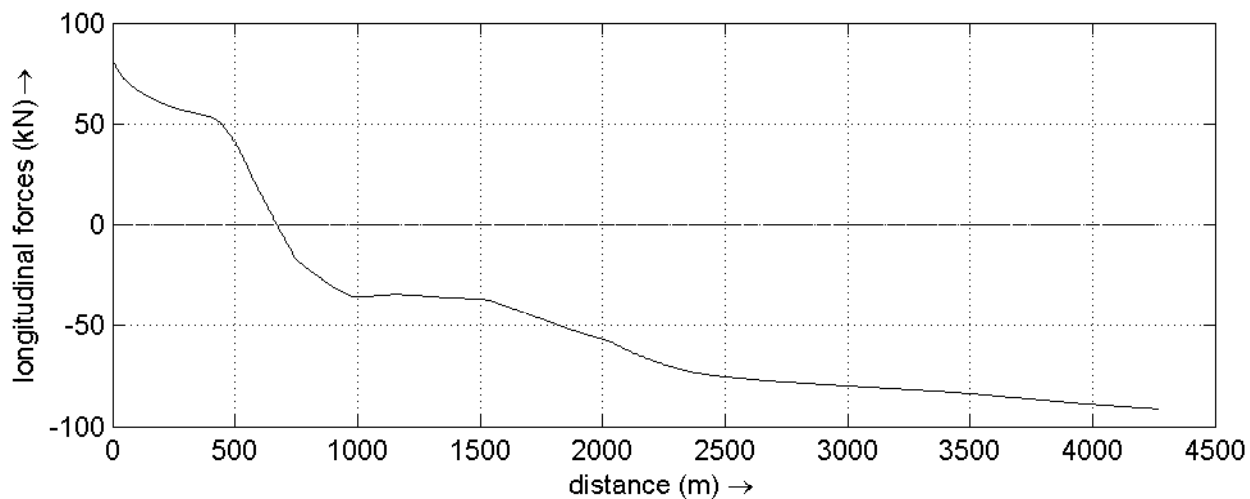
PB9376-Livorno

D15.3-W4-4xSB

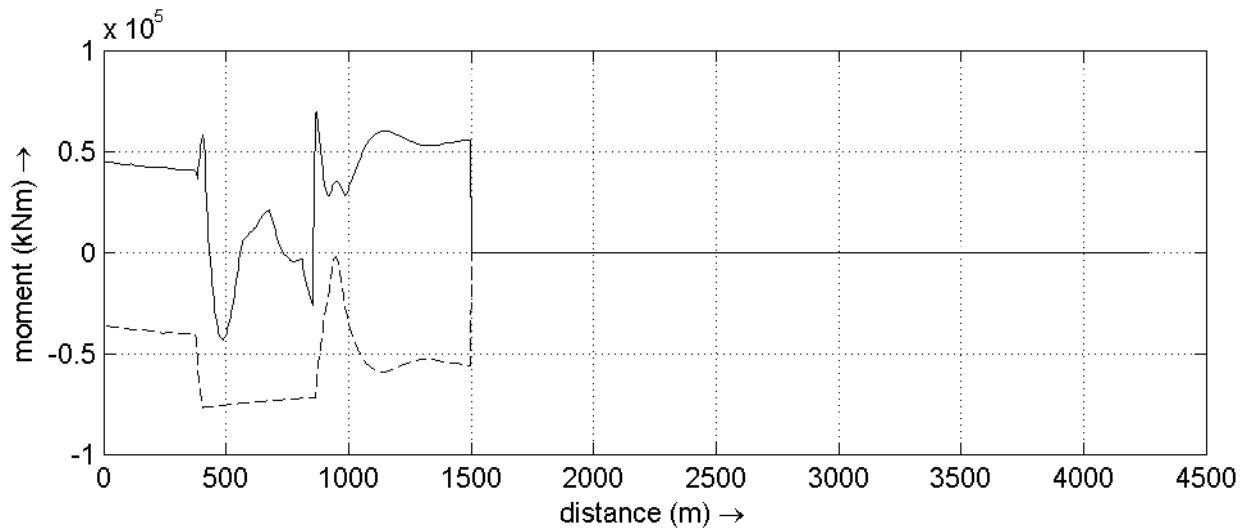
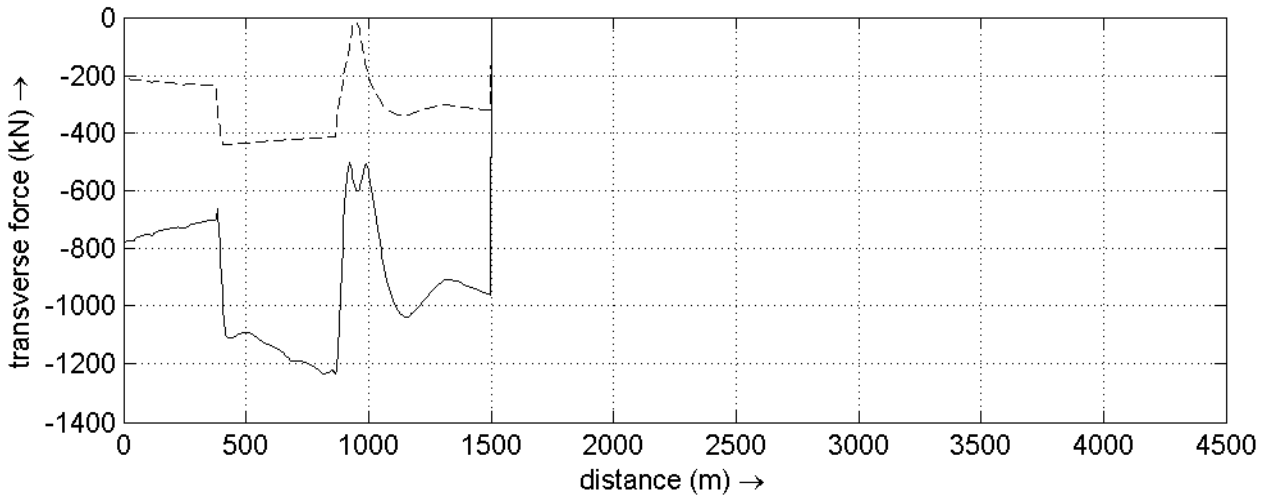
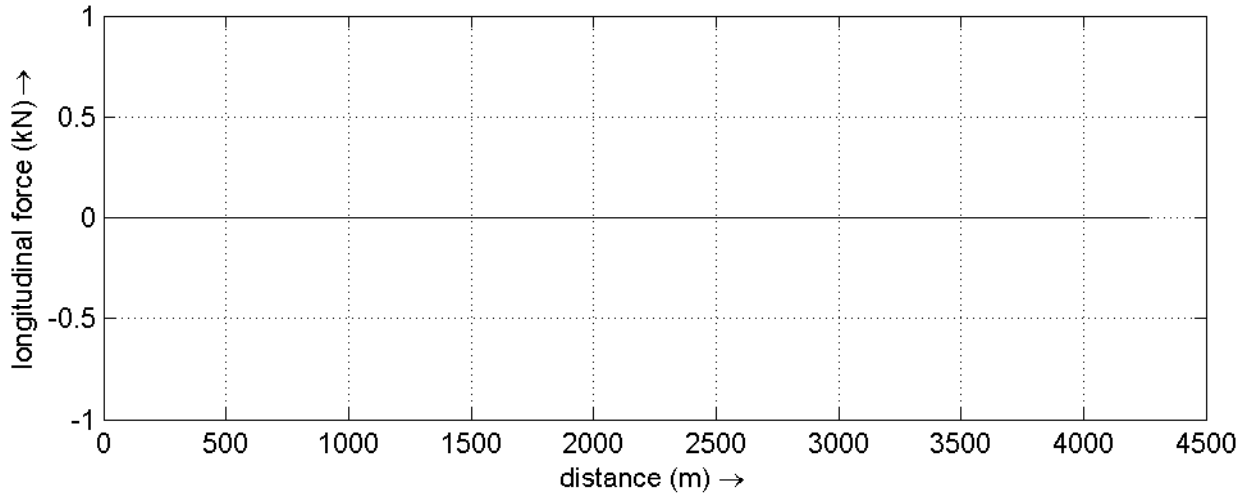
SHIPMA 7.4.0

Royal HaskoningDHV

Fig. C



External forces plots Wind (solid), waves (dashed), swell (dash-dotted) and bank suction (dotted)	PB9376-Livorno	D15.3-W4-4xSB
	SHIPMA 7.4.0	
Royal HaskoningDHV		Fig. D



Tug and thrusters forces plots
Tug forces (solid) and thruster forces (dashed)

PB9376-Livorno

D15.3-W4-4xSB

SHIPMA 7.4.0

Royal HaskoningDHV

Fig. E

RELAZIONE

Studio e simulazioni di navigazione

Porto di Livorno

Cliente: Autorità di Sistema Portuale del Mar Tirreno
 Settentrionale

Riferimento: PB9376-RHDHV-ZZ-XX-RP-Z-0001

Stato: Stesura/P01.03

Data: venerdì 8 novembre 2019

2 Abbey Gardens
Great College Street
London
SW1P 3NL
Maritime & Aviation
VAT registration number: 792428892

+44 207 2222115 **T**
info@uk.rhdhv.com **E**
royalhaskoningdhv.com **W**

Titolo documento: Studio e simulazioni di navigazione

Titolo breve: Studio e simulazioni di navigazione

Riferimento: PB9376-RHDHV-ZZ-XX-RP-Z-0001

Stato: P01.03/Draft

Data: 08/11/2019

Nome progetto: Progetto preliminare Piattaforma Europa

Numero progetto: PB9376

Autore/i: Siobhan Vaughan / Cliff Ohl

Redatto da: Cliff Ohl

Verificato da: Gosse de Boer / Perry Groenewegen

Data / Iniziali: Perry Groenewegen 8 Nov 2019

Approvato da: Sergej Sergijenko / Tony Neal

Data / Iniziali: Tony Neal 8 Nov 2019

Classificazione

Riservato



Disclaimer

Nessuna parte di queste specifiche/materiale stampato può essere riprodotta e/o pubblicata a mezzo stampa, fotocopia, microfilm o tramite qualsiasi altro mezzo, senza il previo consenso scritto di HaskoningDHV UK Ltd., né può essere utilizzata senza suddetto permesso, per scopi diversi da quelli per cui è stata prodotta. HaskoningDHV UK Ltd. non si assume alcuna responsabilità per queste specifiche/questo materiale stampato nei confronti di soggetti diversi dalle persone da cui è stato commissionato e come convenuto ai sensi di tale Incarico. Il sistema di gestione QHSE integrato di HaskoningDHV UK Ltd. è certificato ai sensi degli standard ISO 9001:2015, ISO 14001:2015 e ISO 45001:2018.

Indice

1	Introduzione	1
1.1	Descrizione del progetto	1
1.2	Obiettivo del progetto	1
2	Base dello studio e simulazioni	4
2.1	Struttura navale	Errore. Il segnalibro non è definito.
2.2	Operazioni navali	5
2.3	Condizioni ambientali	8
3	Valutazione	Errore. Il segnalibro non è definito.
3.1	Metodologia	18
3.2	Larghezza del canale	18
3.3	Area di evoluzione	18
3.4	Carichi esterni	Errore. Il segnalibro non è definito.
3.5	Simulazioni fast time	22
4	Conclusione	Errore. Il segnalibro non è definito.
4.1	Riepilogo	26
4.2	Raccomandazioni	26
5	Riferimenti bibliografici	27

Appendici

A1	Modello della nave
A2	Modelli di simulazione esemplificativi

Acronimi e abbreviazioni

Bft	Beaufort
LOA	Length Overall (lunghezza fuori tutto)
MSL	mean sea level (livello medio del mare)
RHDHV	Royal HaskoningDHV
s.m.m.	sul medio mare
TEU	Twenty-Foot Equivalent Unit (unità equivalente a venti piedi)
UKC	Under Keel Clearance (sotto la chiglia)
UKHO	United Kingdom Hydrography Office

1 Introduzione

1.1 Descrizione del progetto

Royal Haskoning DHV (RHDHV) e F&M Ingegneria (F&M) collaborano per la progettazione delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa. L'intervento è ubicato nel tratto di costa nord-occidentale della costa toscana (Figura 1) e prevede l'espansione ad ovest dell'attuale porto (Figura 2).

1.2 Obiettivo dello studio

Nel presente studio di navigazione, consistente in una serie di simulazioni fast time eseguite con il software SHIPMA, sono stati analizzati:

- arrivo e partenza di navi porta-contenitori con capacità nominale di 16,000 TEU e 400 m LOA;
- funzionalità del nuovo canale e del cerchio di evoluzione per il nuovo terminal container;
- operatività per condizioni ambientali avverse con probabilità di superamento di 24 ore/anno;
- stima dei requisiti per i servizi di rimorchio nel corso delle manovre (numero di rimorchiatori da utilizzare in base alle operazioni correnti a Livorno).

Nell'ambito della redazione del Piano Regolatore Portuale sono state condotte simulazioni fast time e real time (cfr. "Studio di Navigabilità). Tuttavia, tali simulazioni sono state eseguite solo per la configurazione finale di progetto.

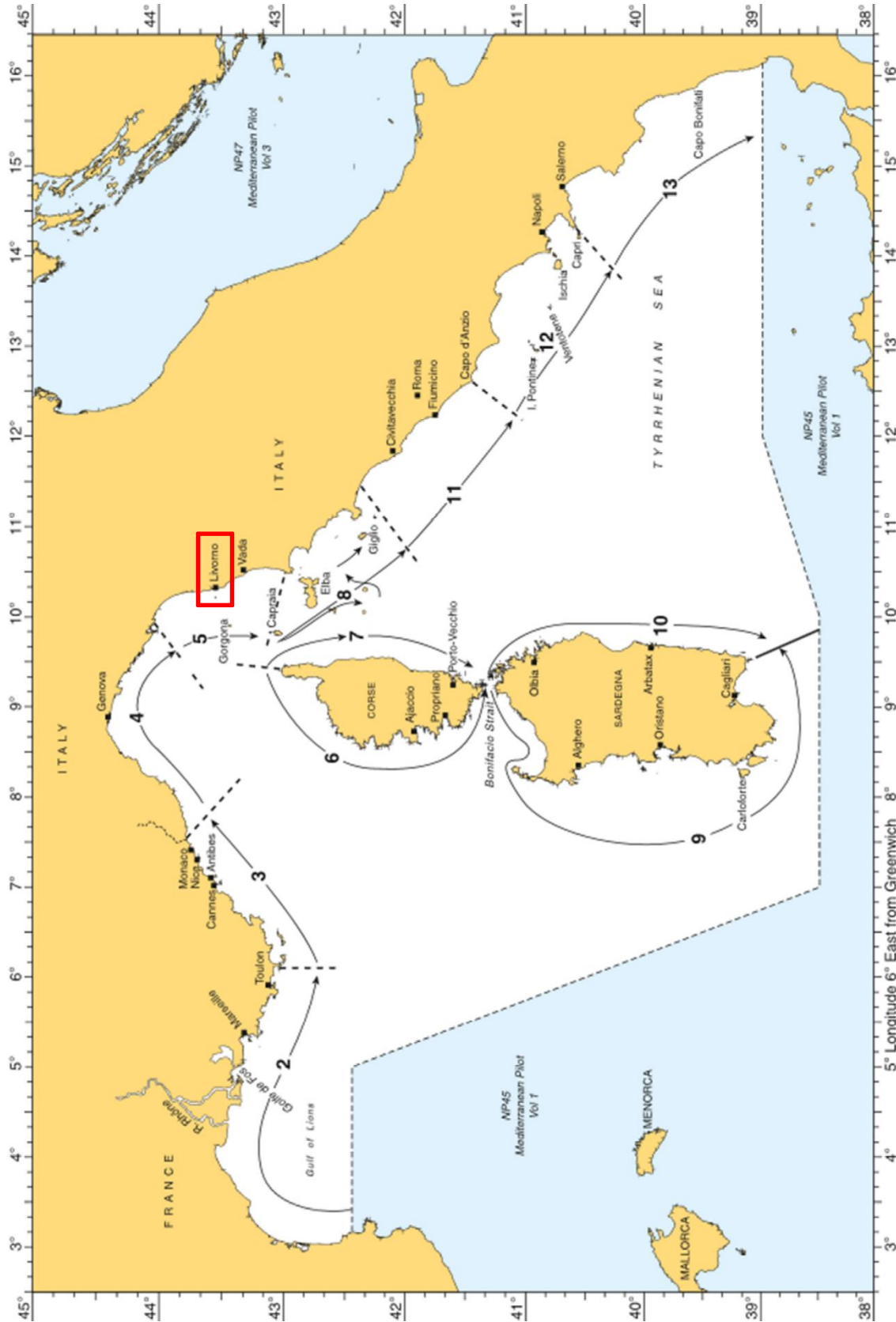


Figura 1: Porto di Livorno – Posizione indicata con la casella rossa (UKHO, 2018)

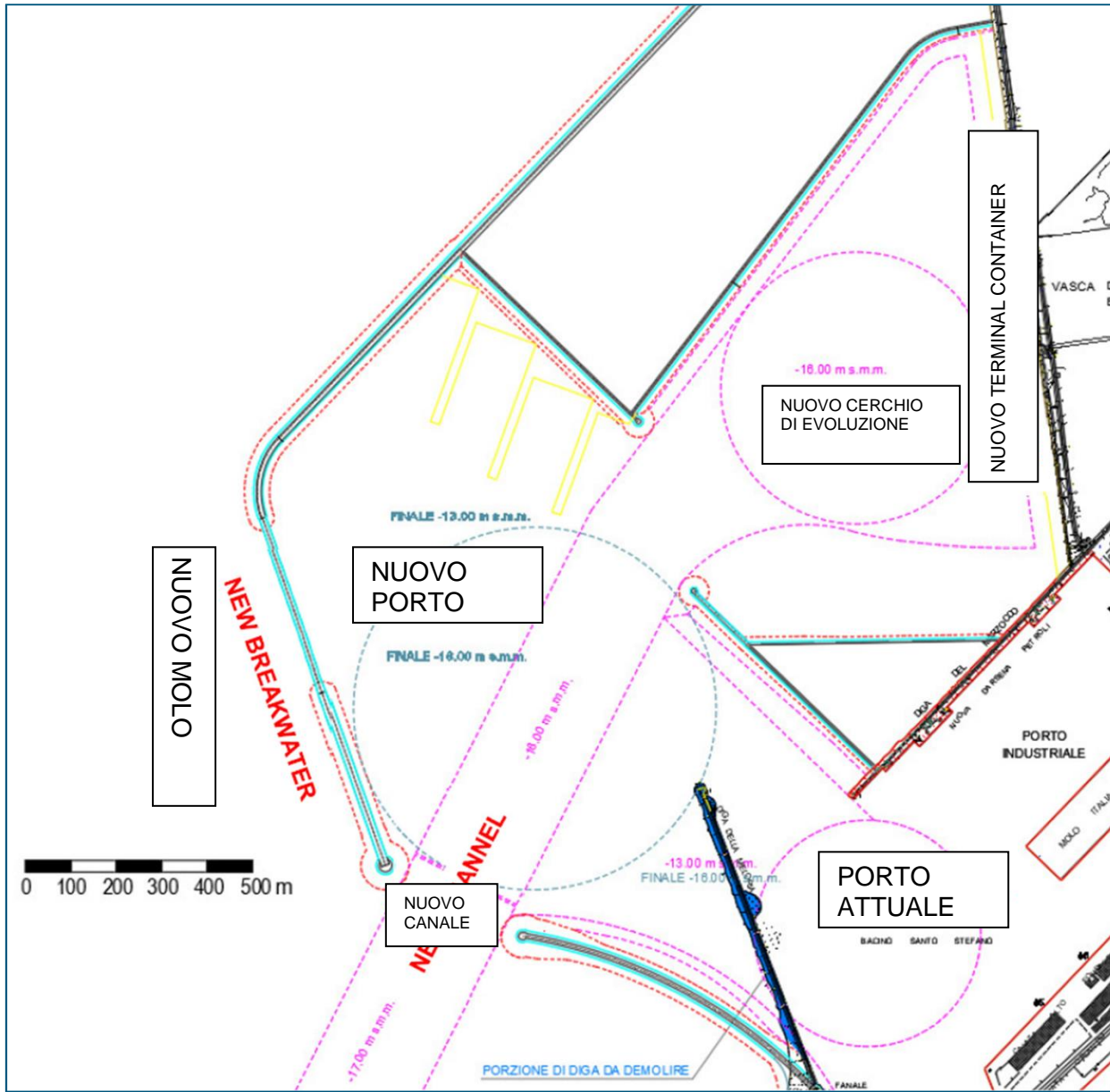


Figura 2: Piano di espansione del Porto di Livorno, disposizione generale, con profondità di dragaggio indicati in metri s.m.m. (MSL)

2 Base dello studio e simulazioni

2.1 Layout del porto

L'attuale porto di Livorno (43°33'N 10°18'E) presenta le seguenti caratteristiche (UKHO, 2018):

- Posizionato su un'ampia pianura contornata da colline nella parte nord della città
- Protetto da dighe frangiflutti con un'ampia area di secche circa a 5 Nm a Ovest (che offre riparo agli ancoraggi esterni)
- Ingressi da NO (fuori servizio per insabbiamento) o SO, con profondità di dragaggio di 15 m nell'accesso Bocca Sud, sebbene il porto sia soggetto a insabbiamento

Come indicato nella Figura 2, il layout del nuovo porto è quella relativa alla prima fase di attuazione della Piattaforma Europa (ossia, così come schematizzata e impiegata nei modelli idraulici per la valutazione delle condizioni d'onda di progetto) e comprende le seguenti nuove strutture:

- Canale di navigazione con:
 - Allineamento canale esterno da SSO a NNE, con una leggera svolta a Est nel nuovo bacino interno del porto
 - Larghezza di 250 m a livello di cunetta
 - Livello di dragaggio -17,0 m MSL nel canale esterno e -16,0 m MSL nel canale interno, sebbene sia previsto un approfondimento dei fondali in futuro, per consentire l'accesso a navi con pescaggi superiori.
- Moli di sopraflutto e di sottoflutto
- Aree di manovra con diametri nominali del cerchio di evoluzione seguenti:
 - all'imboccatura interna del porto, adiacente alla nuova banchina per container 600 m (-16.0 m);
 - alla nuova imboccatura Nord del porto attuale (-13.0 m).

2.2.1 Nave di progetto

La tabella seguente presenta le principali caratteristiche della nave di progetto (porta-contenitori da considerare nello studio e il modello nave SHIPMA (CON052) ritenuta più appropriato per le simulazioni. Lo studio è stato svolto con riferimento esclusivamente alla nave di progetto individuata: navi Ro-Ro, navi portarinfuse, ecc. non sono state valutate in questo studio.

Tabella 1: Caratteristiche della nave di progetto

Riferimento	TEU	LOA (m)	Baglio massimo (m)	Profondità (m)	Pescaggio (m)	Spostamento (tonnellate)	Profondità d'acqua * (m)
Nave di progetto	16.000	400	-	-	15,0	-	-
CON052 (Tripla E)	18.000	400	59,0	30,2	16,0	259.000	17,6 -19,2

Nota: * profondità d'acqua in base alla quale il modello di nave porta-contenitori è stato tarato



Figura 3: Esempio di una nave porta-contenitori di classe tripla E con parametri simili alla nave di progetto (RINA, 2013)

Per questo studio è stato selezionato il modello di nave CON052 principalmente per la sua lunghezza fuori tutto (LOA) che corrisponde a quella della nave di progetto, e una UKC (under keel clearance, franco sotto la chiglia) per il modello di nave calibrata. L'UKC ha un impatto significativo sulla manovrabilità della nave, dal momento che una UKC bassa ha generalmente una manovrabilità inferiore e una simulazione più conservativa, e il modello della nave CON052 può essere utilizzato per simulare una UKC relativamente bassa (ossia, simile alla nave di progetto).



2.2.2 Rimorchiatori

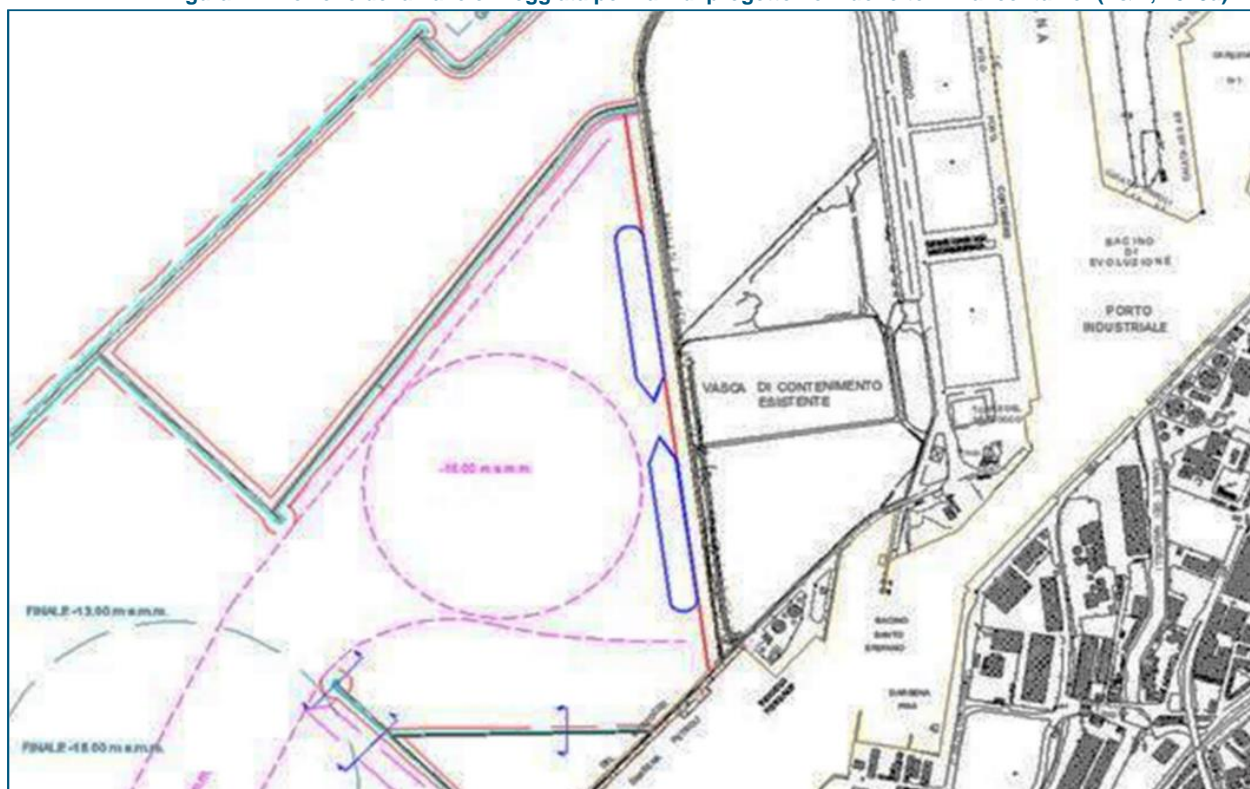
Si ipotizza che i rimorchiatori disponibili siano del tipo previsto dall'elenco di navi fornito dall'armatore dei rimorchiatori (Neri, 2019a e 2019b) e le operazioni di rimorchio avvengano in maniera analoga a come oggi avviene nel porto di Livorno:

- Velocità massima della nave all'interno del porto di 6 nodi
- I rimorchiatori possono essere collegati alla nave fuori dal porto ma traineranno la nave solamente a una velocità inferiore a 6 nodi
- Considerando che i rimorchiatori operano con cavi d'acciaio (a causa dello spazio di manovra limitato), in condizioni ordinarie (senza emergenza), è preferibile trainare la nave solo in acque protette (all'interno del porto)
- Per il traino della nave e l'assistenza verranno utilizzati 3 o 4 rimorchiatori: 1 o 2 rimorchiatori a poppa da collegare prima per mantenere l'efficienza del timone a bassa velocità (basso motore, rimorchiatori di poppa che trainano)
- Tipi di rimorchiatori disponibili al Porto di Livorno (appartenenti alla flotta Neri):
 - Rimorchiatori trattori
(capacità: potenza traino da 70 tonnellate, da 5500 a 6900 cavalli vapore; lunghezza 24-30 m; larghezza 12-13,5 m; pescaggio 5-6,5 m)
 - Rimorchiatori ASD
(capacità: potenza traino superiore a 70 tonnellate e fino a 90 tonnellate, da 5500 a 6900 cavalli vapore; lunghezza 29-32 m; larghezza 12-13,5 m; pescaggio 5-6,5 m)
- Le simulazioni di navigazione dovrebbero considerare, preferibilmente, rimorchiatori con potenza di traino massima di 70 tonnellate.

2.2.3 Condizioni di ormeggio

In base alle conversazioni con la Guardia Costiera (F&M, 2019a), le navi di progetto ormeggiate al nuovo terminal container saranno disposte prua a prua per facilitare una partenza più rapida, se necessario, come illustrato nella **Figura 4**. Il presente studio non simula le manovre di ormeggio e questo requisito dovrà essere approfondito nelle successive fasi della progettazione, facendo eventualmente ricorso a simulazioni real time.

Figura 4: Direzione della nave ormeggiata per navi di progetto nel nuovo terminal container (F&M, 2019a)





2.3 Condizioni ambientali

Le condizioni ambientali si basano su:

- Risultati del modello idraulico forniti da F&M (2019b) per eventi 24 ore/anno da tre settori come indicato nella **Tabella 2**; e
- NP46, Admiralty Sailing Directions, Mediterranean Pilot Volume 2 (UKHO, 2018), utilizzato principalmente come confronto con i risultati del modello di F&M, ad esempio per la verifica e la calibrazione.

Tabella 2: Condizioni ambientali offshore (valori medi) (F&M, 2019b)

Riferimen to condizioni	Settore (°N)	Altezza significativa delle onde (m)	Period o di picco (s)	Direzione da (°N)	Veloc ità del vento (m/s)	Direzion e del vento (°N)
1	150-220	2,4	6,7	170	10,0	170
2	220-280	4,3	9,4	250	12,2	250
3	280-340	2,1	7,3	290	8,4	290

2.3.1 Batimetria

I dati di batimetria impiegati nello studio sono illustrati nella figura sotto: la figura evidenzia la profondità del fondale in metri rispetto al livello medio del mare.

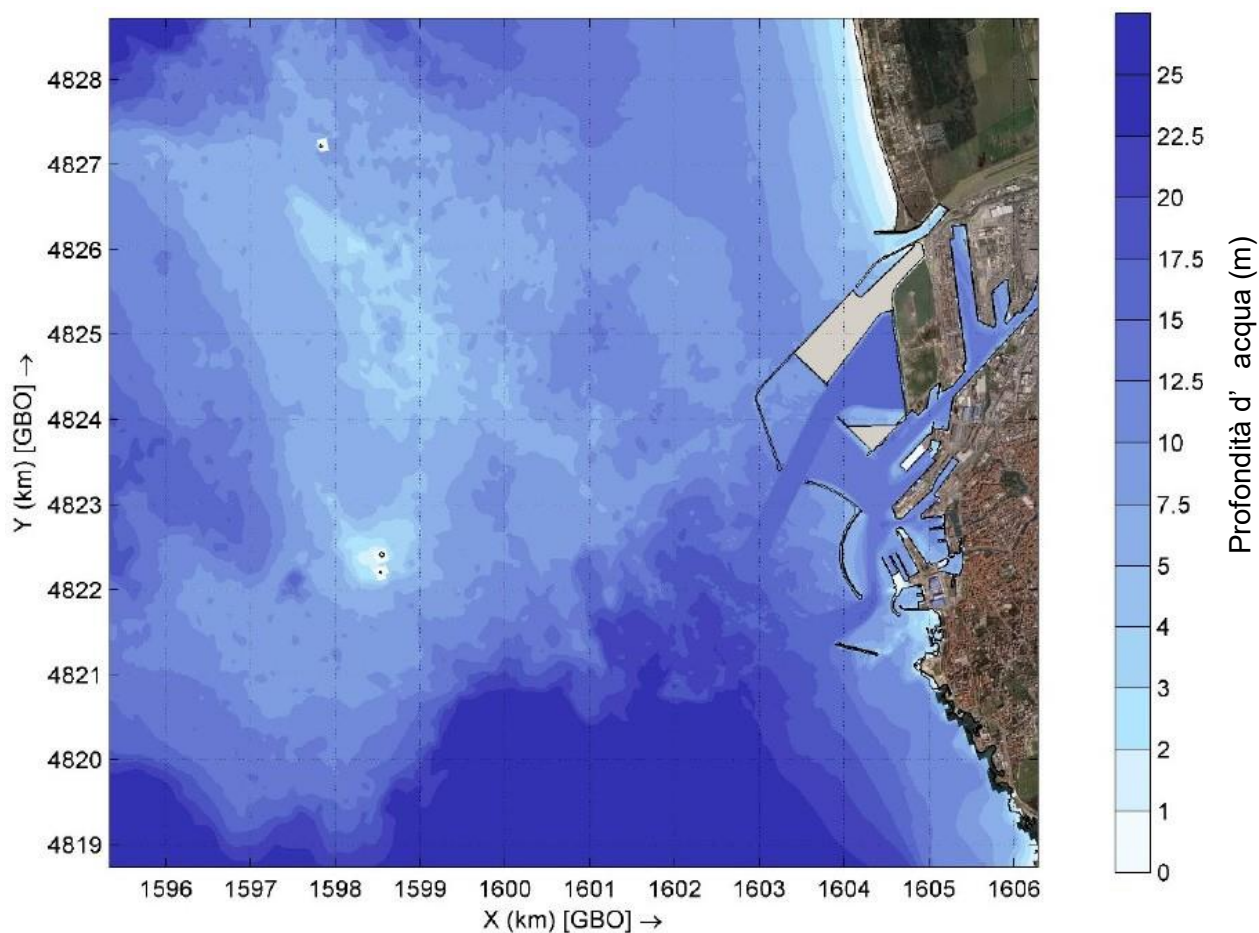


Figura 5: Batimetria per il modello idraulico della struttura del nuovo porto e simulazioni di navigazione fast time (F&M, 2019b)

2.3.2 Livello del mare

In questa regione l'escursione di marea raramente supera 0,3 m, con un'ampiezza sizigiale media di circa 0,2 m e un'ampiezza media delle quadrature di circa 0,1 m. Tuttavia, i venti da sud possono causare un aumento del livello dell'acqua (maroso) fino a circa 0,9 m sopra il livello di marea (UKHO, 2018).

Per le simulazioni di navigazione fast time, si è ipotizzato un livello d'acqua di +1,6 m, ossia artificialmente alto al fine di creare una profondità d'acqua nel canale di navigazione tale da corrispondere alla profondità d'acqua calibrata per il modello di nave (come indicato nelle sezioni 2.2.1 e 3.4.1).

2.3.3 Vento

I venti predominanti sono generalmente diretti verso terra e hanno carattere stagionale, come definito di seguito (UKHO, 2018):

- O e NO in estate
- SE e SO in inverno

Con venti forti da SE o SO, le manovre di ingresso alle imboccature del porto esistente sono pericolose (UKHO, 2018). Oltre a quanto sopra, le mappe di distribuzione dei venti (**Figura 6**) indicano venti predominanti da NE.

I risultati della modellizzazione numerica e dell'analisi indicati nella **Tabella 2** si basano su velocità del vento fino a un massimo di 12,2 m/s (circa 25 Kn o Beaufort 6) da 250°N. Per la valutazione della navigazione, sono state considerate le condizioni di vento prevalenti da tutte le direzioni, vale a dire compreso il vento da SE (ossia, vento trasversale rispetto al canale di navigazione). Le simulazioni di navigazione verranno condotte per condizioni considerate estreme o significative. Le velocità medie del vento fino a 22-27 nodi (Beaufort 6) verranno considerate in base a Neri (2019b) e alla **Figura 7**, che riporta i dati di Pisa (circa 25 km NNE di Livorno) e indica che le velocità del vento sono generalmente inferiori a Beaufort 7.

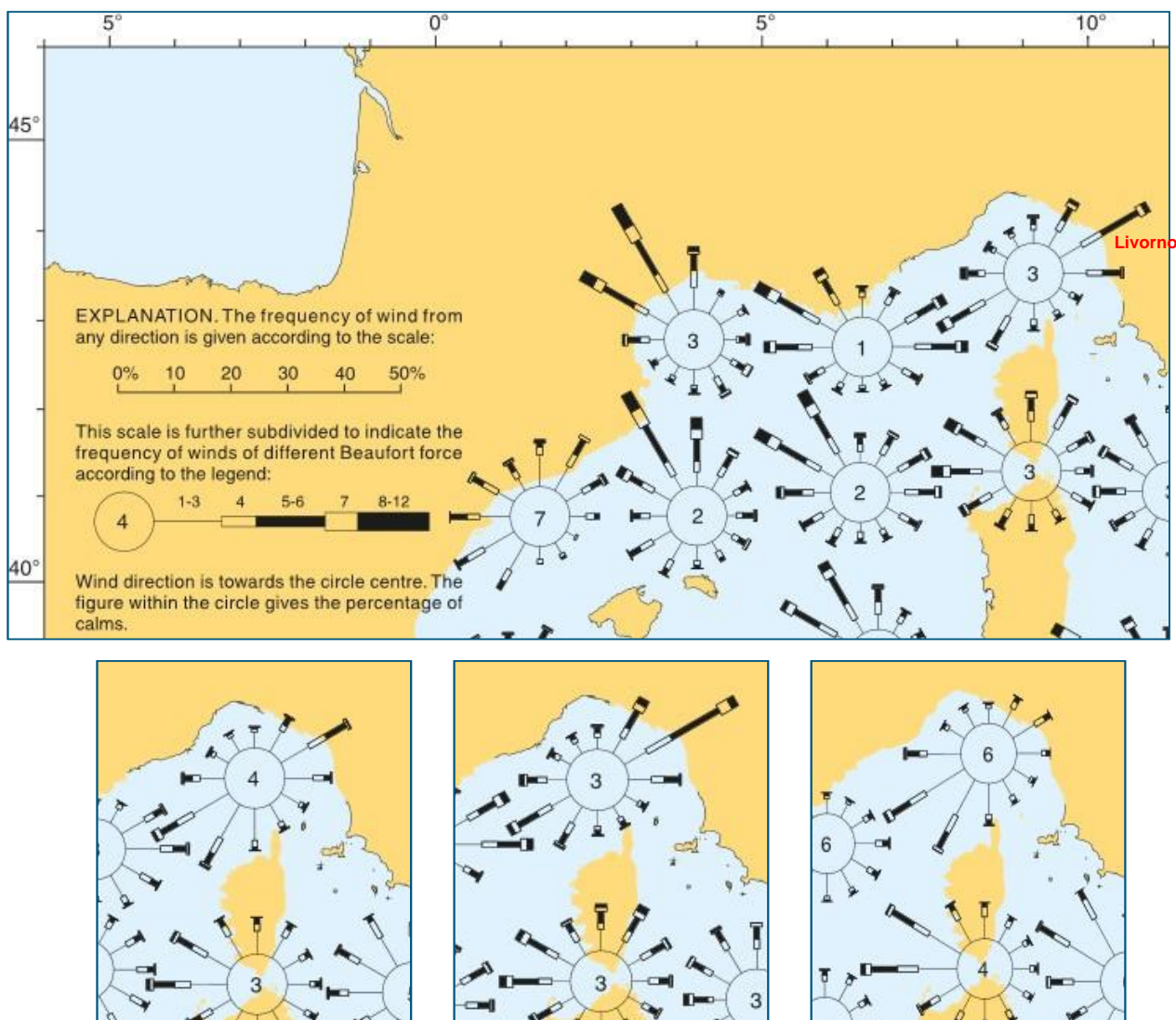


Figura 6: Distribuzione del vento per feb., mag., ago. e nov. (UKHO, 2018)

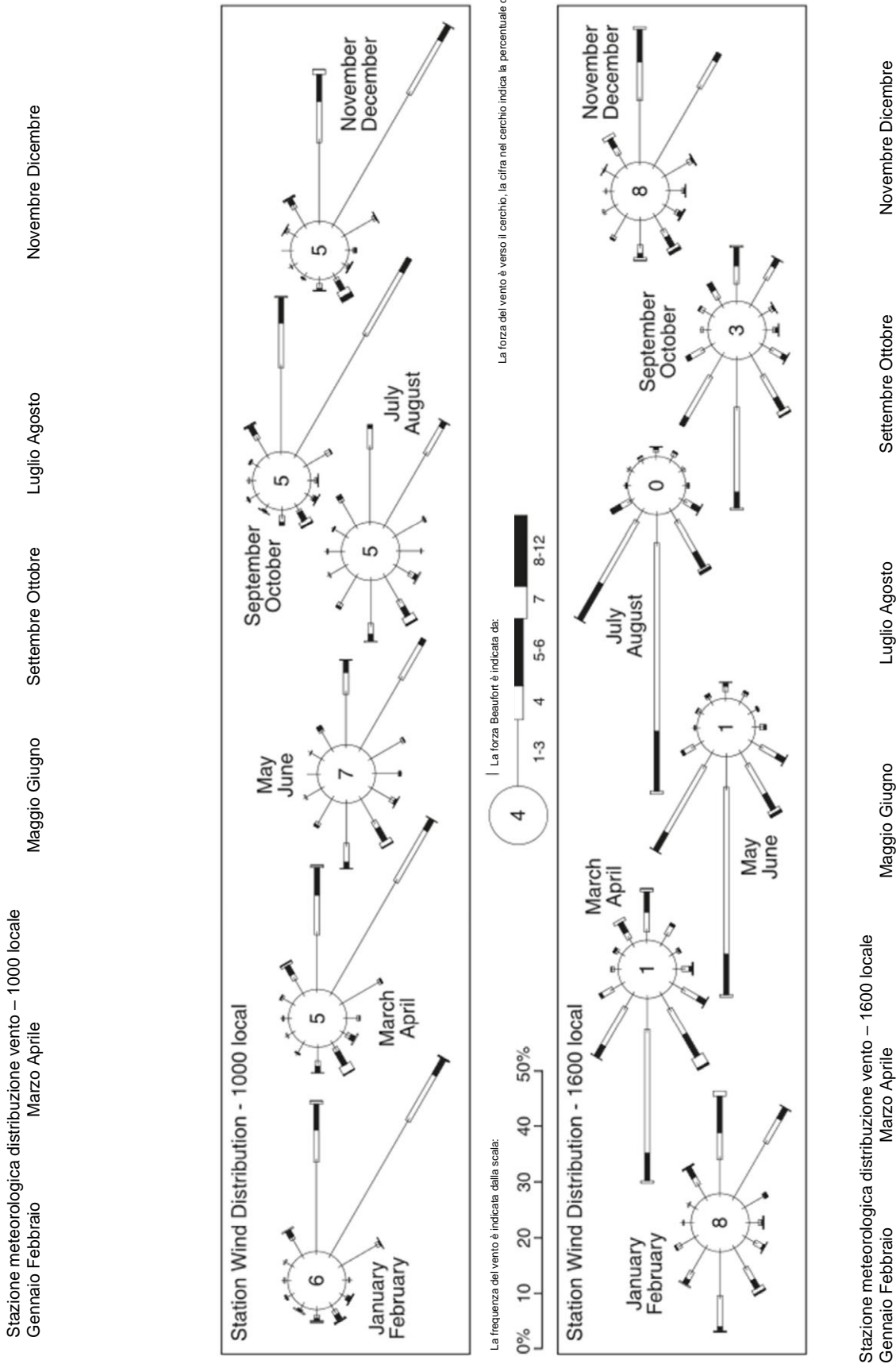


Figura 7: Stazione meteorologica distribuzione vento per WMO n. 16158 Pisa (San Giusto) 43°41'N 10°24'E (UKHO, 2018)

2.3.4 Moto ondoso

Le mappe di distribuzione di mare lungo da UKHO (2018) indicano che le onde lunghe vengono generate prevalentemente da ovest e sud-ovest. Ciò coincide con i risultati di modellizzazione numerica (F&M, 2019b) indicati nella **Tabella 2** e dalla **Figura 9** alla **Figura 11** (ossia, in corrispondenza delle tre condizioni ambientali di cui alla Sezione 3.3) e questi risultati di modellizzazione numerica vengono utilizzati come input per le simulazioni di navigazione fast time.

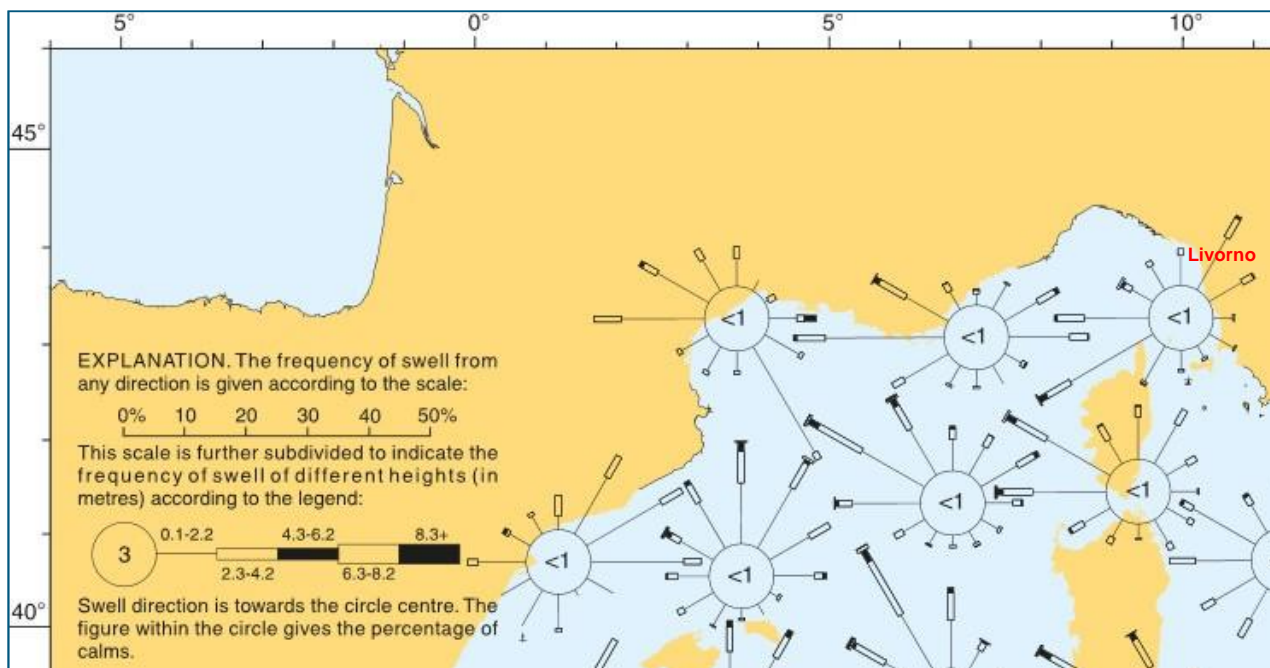


Figura 8: Distribuzione di mare lungo per febbraio, maggio, agosto e novembre (UKHO, 2018)

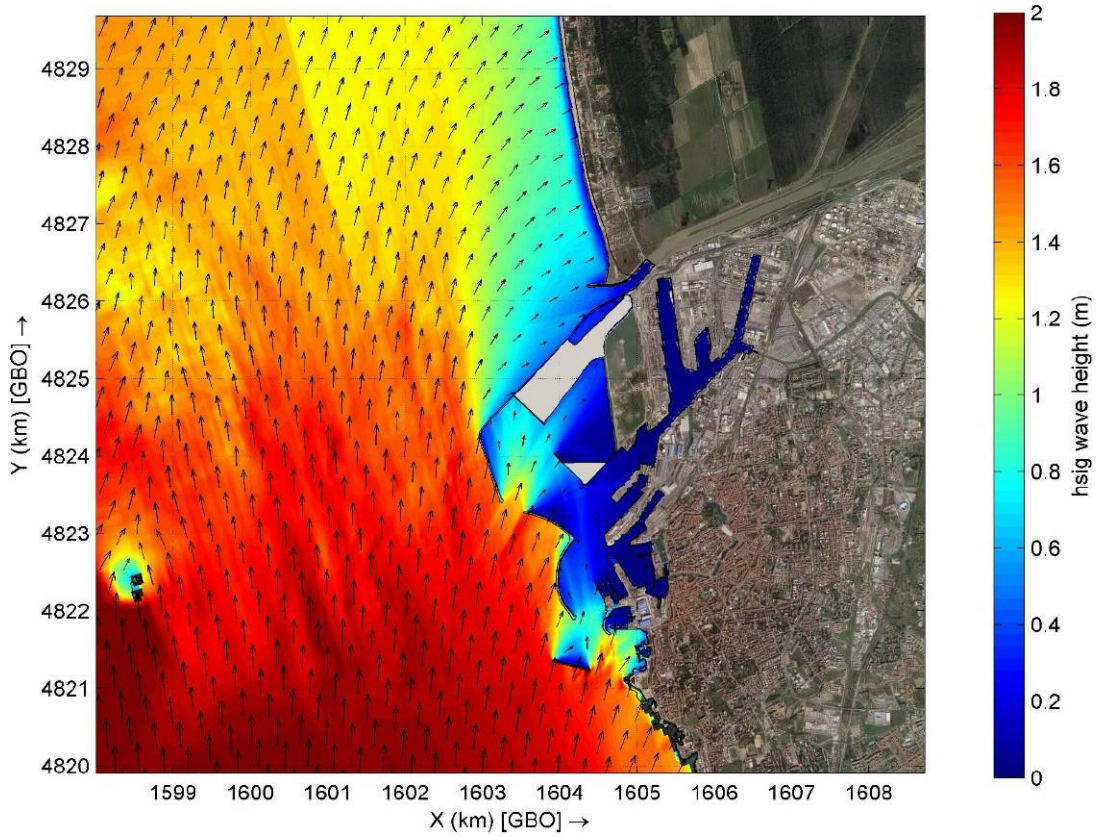


Figura 9: Altezza significativa delle onde, riferimento condizioni 1 (F&M, 2019b)

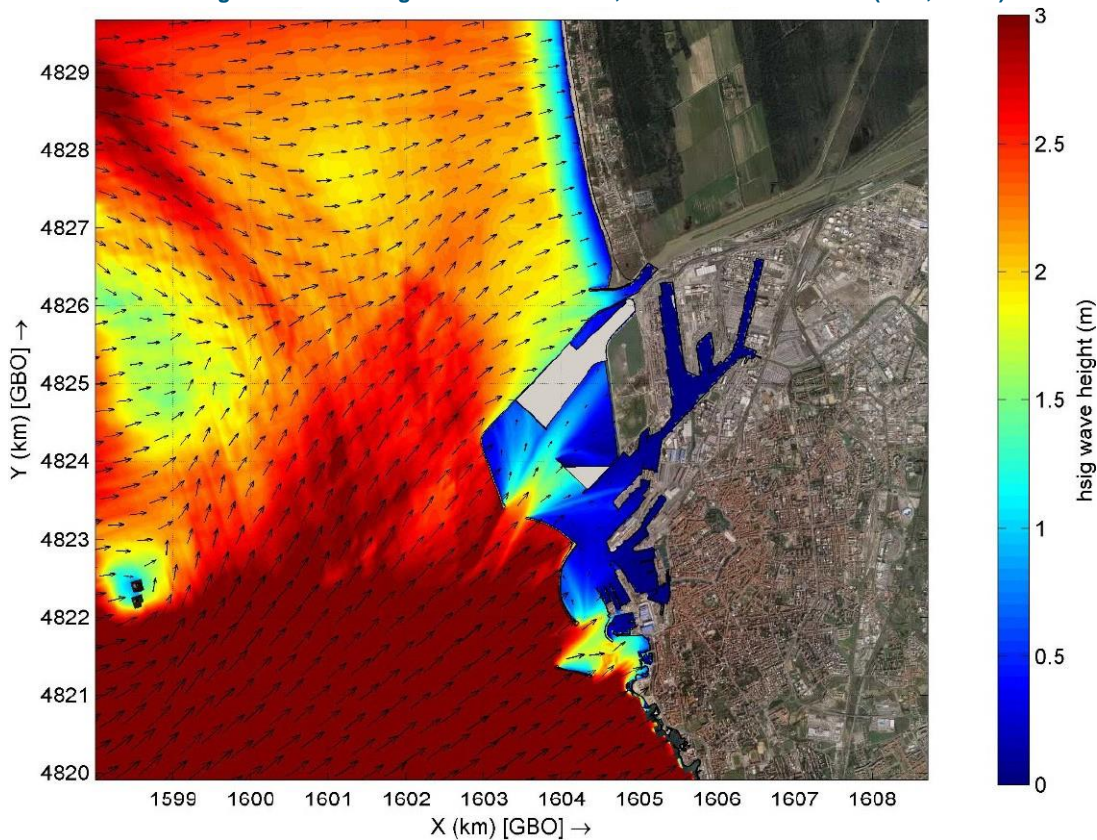


Figura 10: Altezza significativa delle onde, riferimento condizioni 2 (F&M, 2019b)

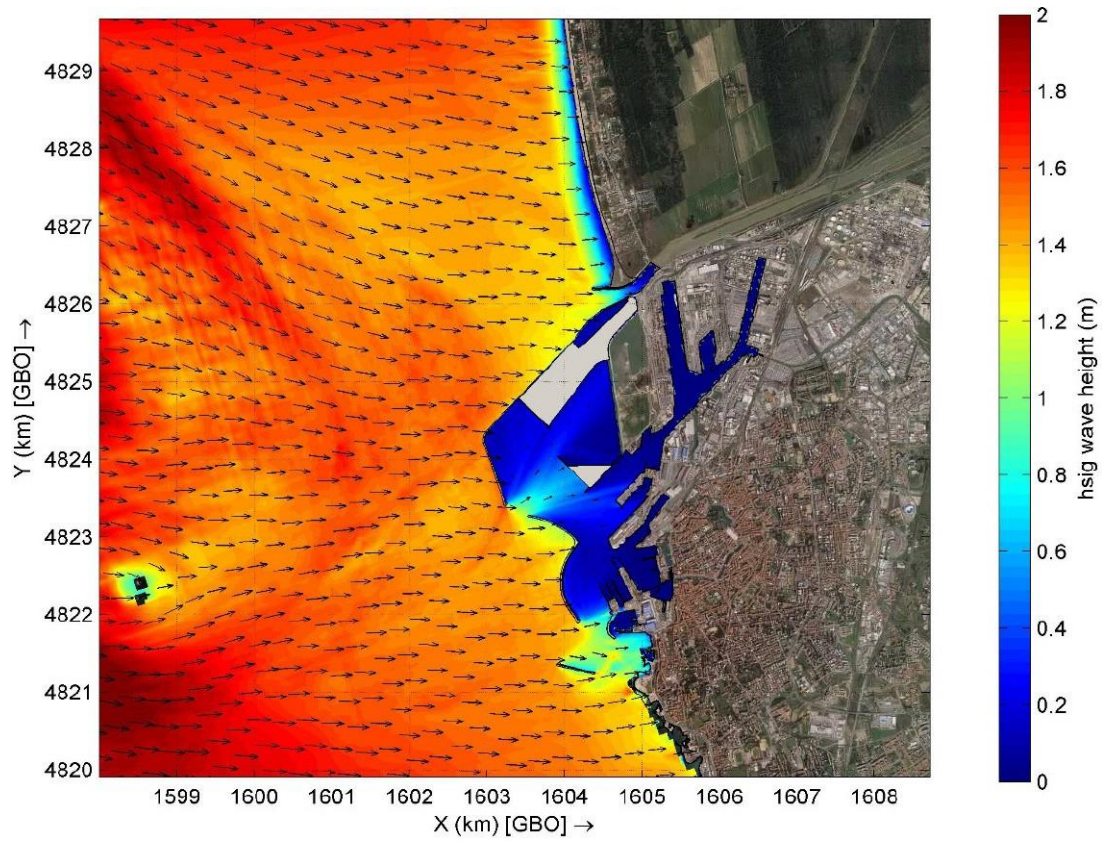


Figura 11: Altezza significativa delle onde, riferimento condizioni 3 (F&M, 2019b)

2.3.5 Correnti

Nella **Figure 12** è rappresentata una panoramica dei vettori della corrente di marea. Vicino a Livorno, in estate, si sviluppa una corrente con velocità media di 0,25 nodi verso sud che può aumentare fino a 1,5 kn con un vento dominante da ovest. Tuttavia, con il vento dominante da sud si sviluppa una corrente diretta verso nord (UKHO).

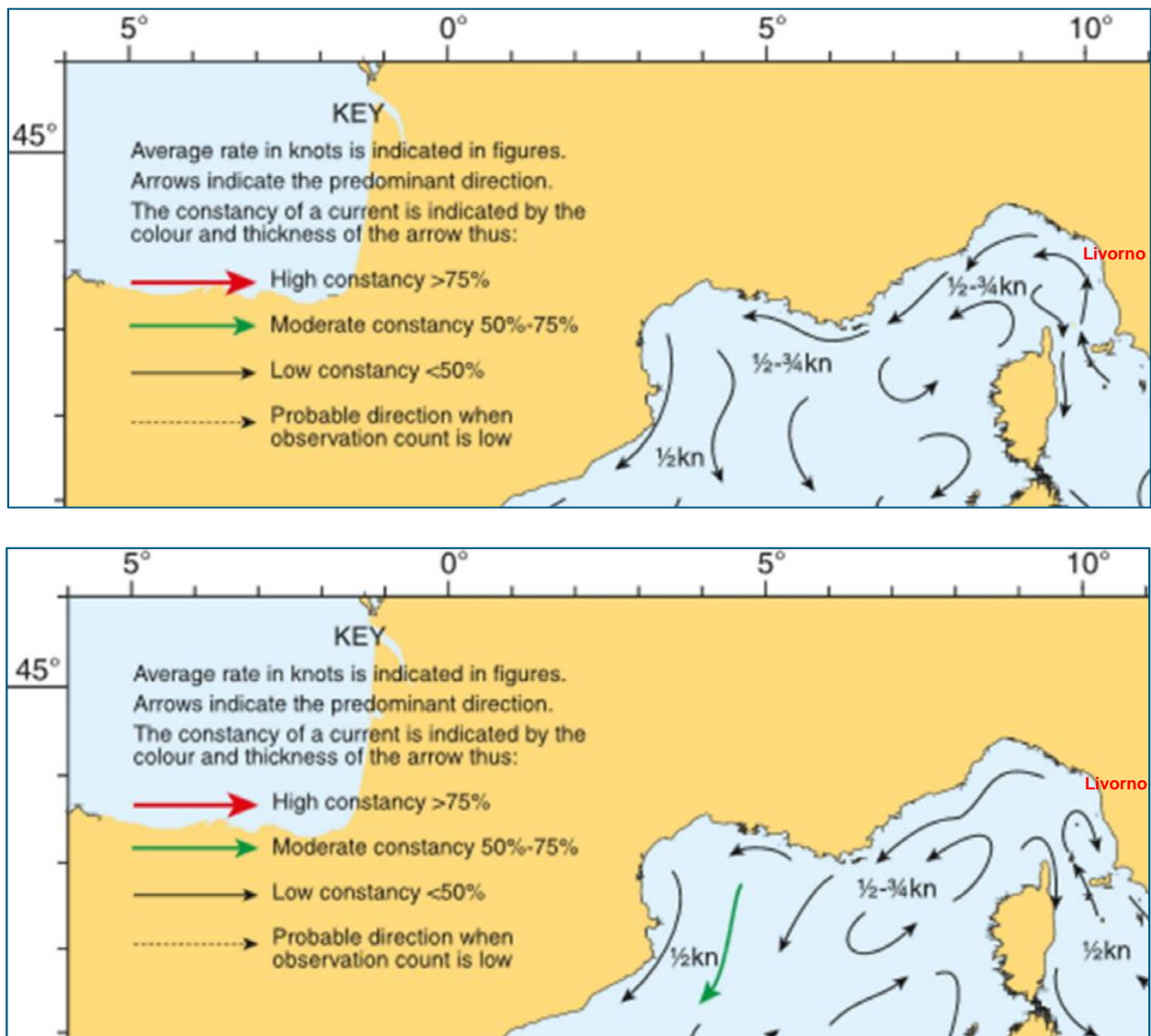


Figura 12: Correnti di superficie per gennaio e luglio (UKHO, 2018)

Le correnti considerate sono state ricavate sulla base dei risultati della modellizzazione numerica della circolazione idrodinamica (Elaborato 1233_PP-D-004_0), che corrispondono in larga misura a UKHO (2019) e che sono rappresentate da **Figura 13** a **Figura 15** per le tre condizioni meteorologiche (consultare la Sezione 3.3). Questi risultati sono stati utilizzati come input per le simulazioni di navigazione fast time e comprendono le seguenti velocità di corrente approssimative nel canale di navigazione esterno, con direzione indicata rispetto al canale:

- 1 0,1 kn corrente trasversale
- 2 0,5 kn corrente longitudinale e 0,6 kn corrente trasversale (vale a dire, 0,8 kn di velocità corrente totale)
- 3 0,2 kn corrente longitudinale e 0,2 kn corrente trasversale (vale a dire, 0,3 kn di velocità corrente totale)

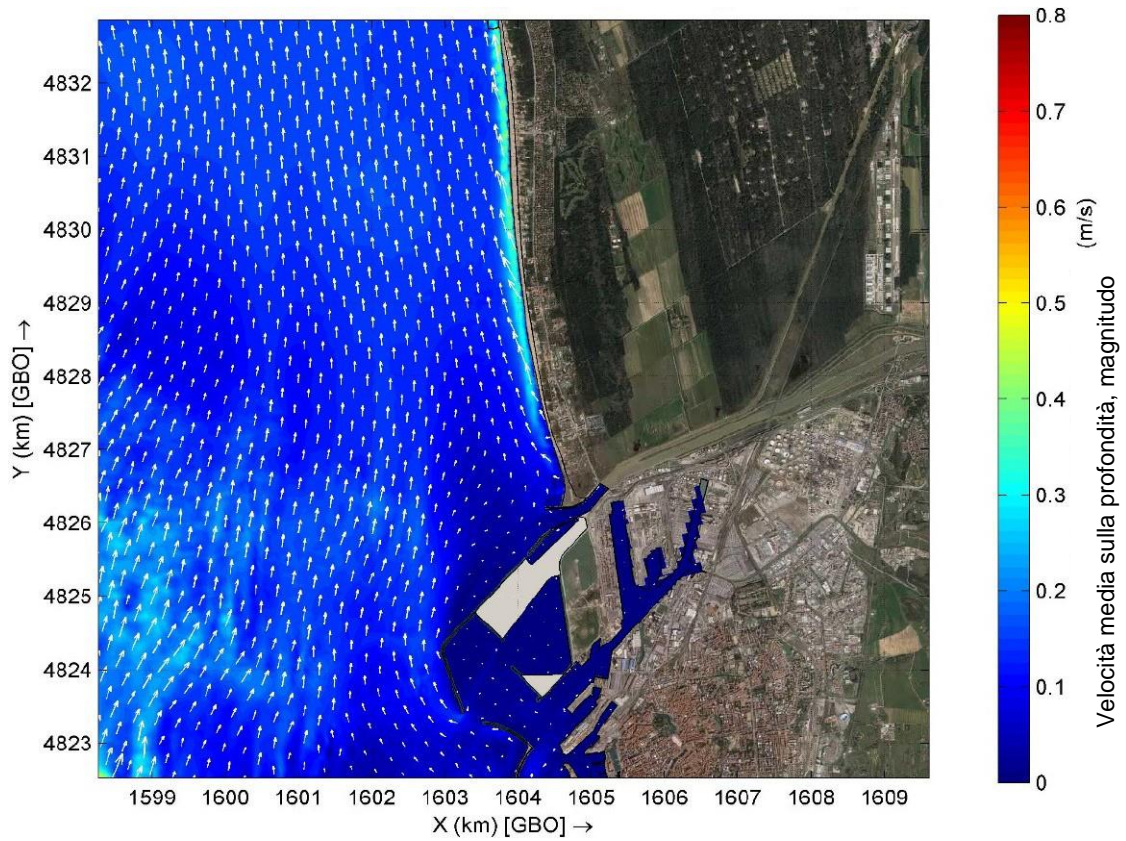


Figura 13: Velocità della corrente, riferimento condizioni 1 (F&M, 2019b)

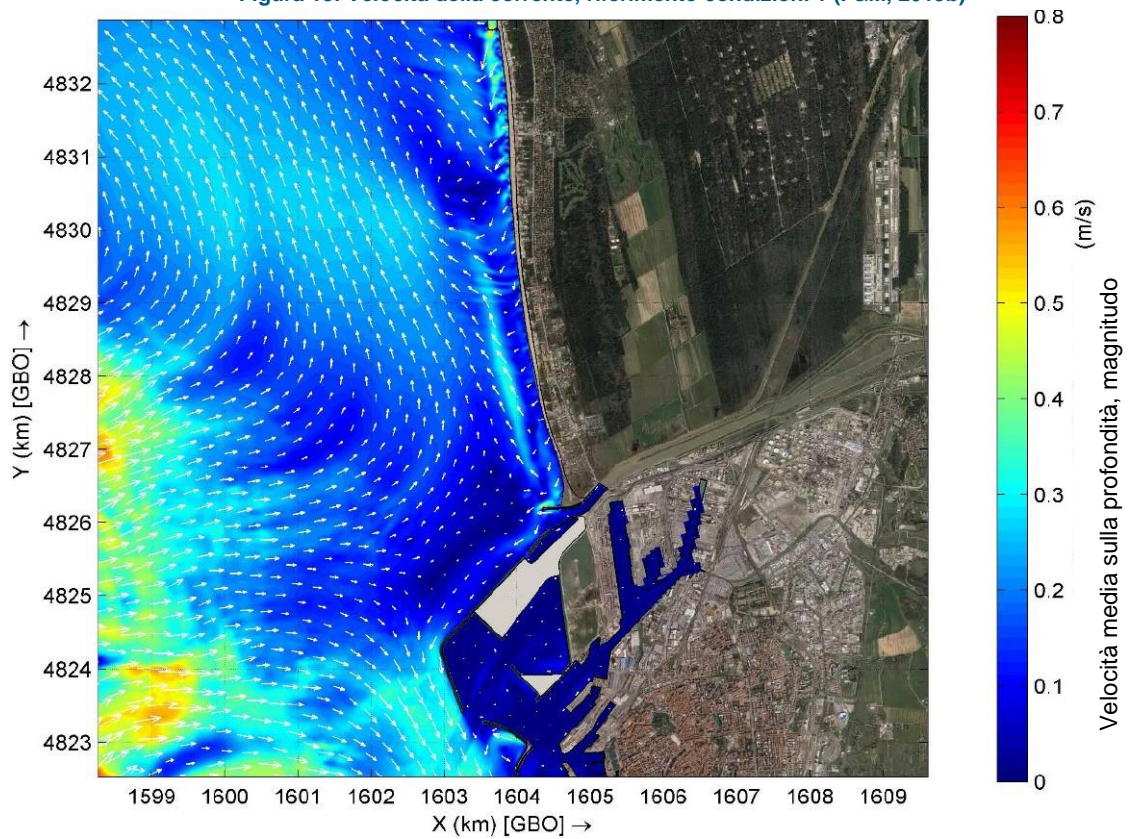


Figura 14: Velocità della corrente, riferimento condizioni 2 (F&M, 2019b)

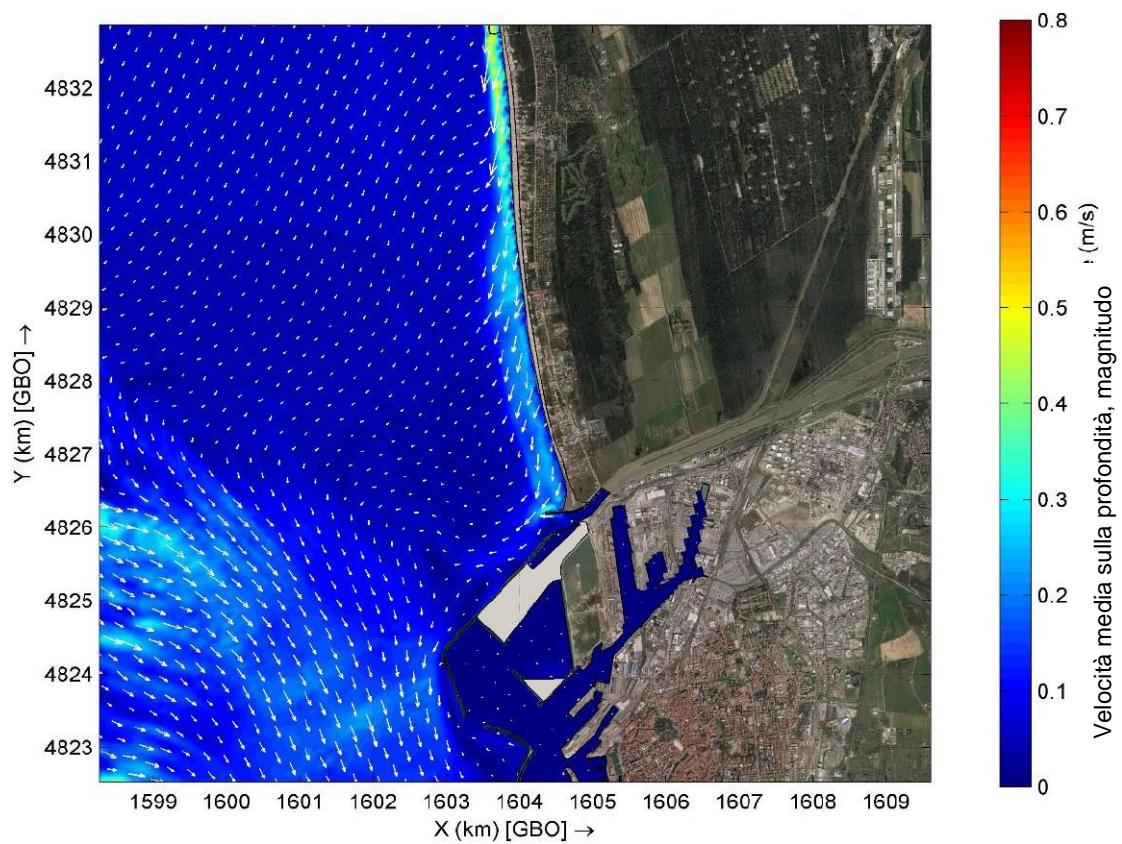


Figura 15: Velocità della corrente, riferimento condizioni 3 (F&M, 2019b)

3 Studio della navigabilità

3.1 Metodologia

La valutazione si basa principalmente su:

- Considerazione delle dimensioni laterali del canale e delle aree di manovra in relazione alle dimensioni della nave di progetto
- Stima delle forze laterali dovute al vento e alla corrente e confronto con la potenza del propulsore della nave di progetto
- Simulazioni di navigazione fast time

Si è fatto riferimento ai seguenti standard di settore e relative pubblicazioni:

- PIANC (2014) per le dimensioni del progetto del canale
- PIANC (2014), Thoresen (2003) e ROM (1999) per le dimensioni delle aree di manovra della nave
- Hensen (2003) per la stima delle forze laterali dovute al vento

3.2 Larghezza del canale

La larghezza del canale è stata valutata secondo le linee guida PIANC (2014) per la navigazione della nave CON052, con le caratteristiche principali/luoghi di interesse sintetizzati di seguito:

Tabella 3: Valutazione preliminare della larghezza del canale

Posizione del canale	Larghezza minima (m)	Note
Canale esterno	270	Fuori dall'imboccatura del porto
Imboccatura esterna del porto	290	Tra le teste arrotondate del molo
Imboccatura del porto interno	215	Tra la seconda serie di teste arrotondate del molo (all'arrivo)

La larghezza del canale di progetto è di 250 m, ossia è inferiore rispetto alla larghezza minima stimata sopra. Questa stima è tuttavia soggetta a conferma attraverso le simulazioni di navigazione come indicato sotto.

3.3 Area di evoluzione

Le dimensioni dell'area di evoluzione sono valutate in base alle linee guida PIANC (2014), Thoresen (2014) e ROM (1999), che consigliano un diametro minimo del cerchio di evoluzione nell'ordine del doppio della lunghezza della nave (vale a dire, LOA). Se vengono utilizzati il propulsore principale, il timone e l'elica di manovra prodiera, Thoresen (2014) suggerisce che la lunghezza sia 1,5 volte la LOA. Il diametro del cerchio di evoluzione interno del progetto è di 600 m, pari a 1,5 volte la LOA per il CON052 e sarà sottoposto a conferma durante le simulazioni di navigazione.

3.4 Forze esterne

Le stime delle forze esterne si basano sulle raccomandazioni di Hensen (2003), che fornisce una stima dei requisiti della potenza dell'elica di manovra (podiera o rimorchiatore) e comprende un margine di sicurezza per permettere una usura accettabile. Queste stime possono essere utilizzate per valutare le simulazioni di navigazione, ad esempio durante la calibrazione del modello e l'interpretazione dei risultati.

3.4.1 Vento

Da Hensen (2003), il carico da vento perpendicolare sulla nave può essere calcolato come segue:

$$F_{y,vento} = 0.5 \times C_y \times \rho_{aria} \times V_{vento}^2 \times A_L$$

in cui:

$C_y =$	coefficiente di forza laterale (~1,0 per vento trasversale/vento al traverso)
$\rho_{aria} =$	densità dell'aria (1,28kg/m ³)
$V_{vento} =$	velocità del vento in m/s
$A_L =$	area del vento longitudinale della nave (trasversale) in m ²

Il carico da vento perpendicolare per il modello di nave CON052 è rappresentato nella Figura 16 sotto, ossia la forza propulsiva laterale totale necessaria per contenere la nave con il vento che agisce perpendicolarmente alla mezzeria (ossia, sul baglio).

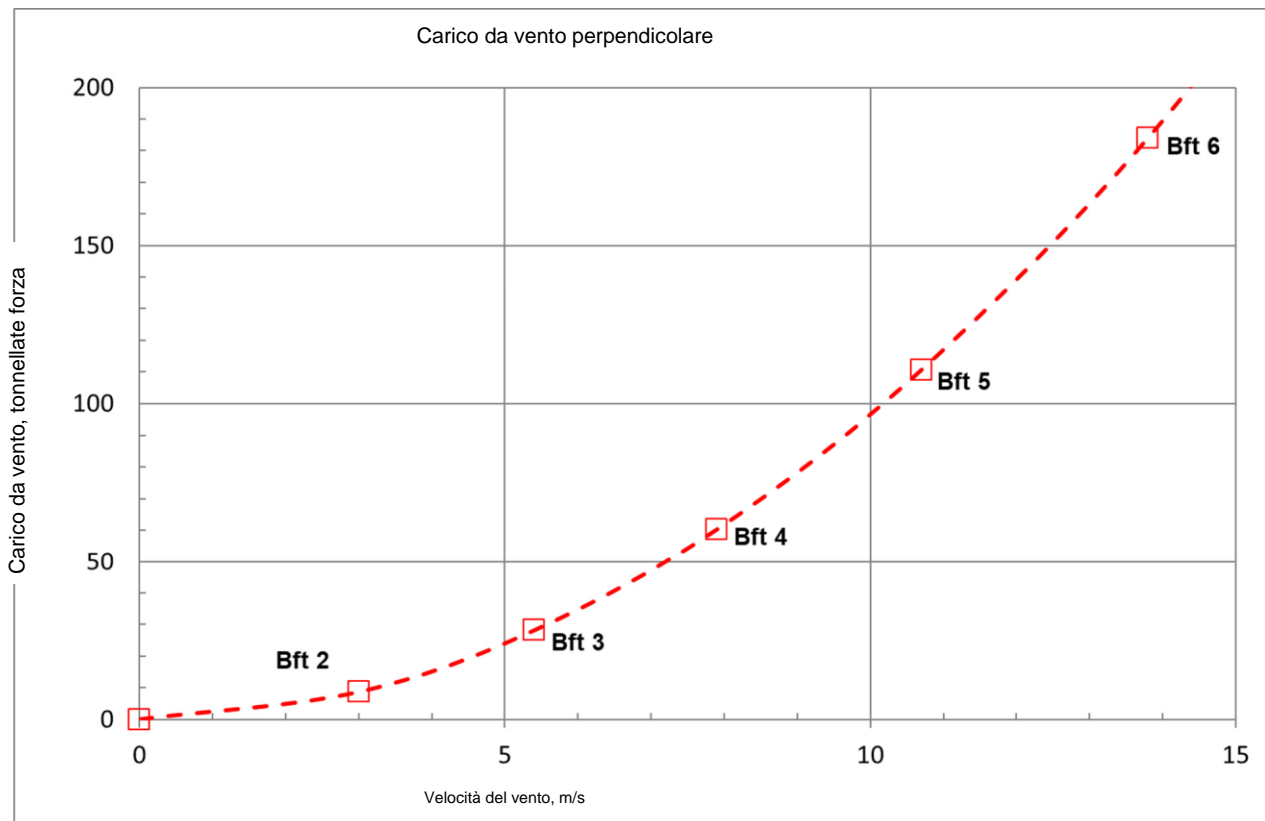


Figura 16: Carico da vento perpendicolare per CON052

3.4.2 Corrente

Da Hensen (2003), il carico da corrente perpendicolare sulla nave può essere calcolato come segue:

$$F_{y,corrente} = 0,5 \times C_y \times \rho_{acqua} \times V_{2\text{ corrente}} \times L_{bp} \times T$$

in cui:

$C_y =$	coefficiente di forza laterale (~2,9 per UKC = $0,1 \times T$)
$\rho_{acqua} =$	densità dell'acqua (1,023kg/m ³)
$V_{corrente} =$	velocità corrente in m/s
$L_{bp} =$	lunghezza della nave tra le perpendicolari in m
$T =$	dragaggio nave in m

Il carico da corrente perpendicolare per il modello di nave CON052 è rappresentato nella Figura 17 sotto, ossia la forza propulsiva laterale totale necessaria per contenere la nave con la corrente che agisce perpendicolarmente alla mezzeria (ossia, sul baglio).

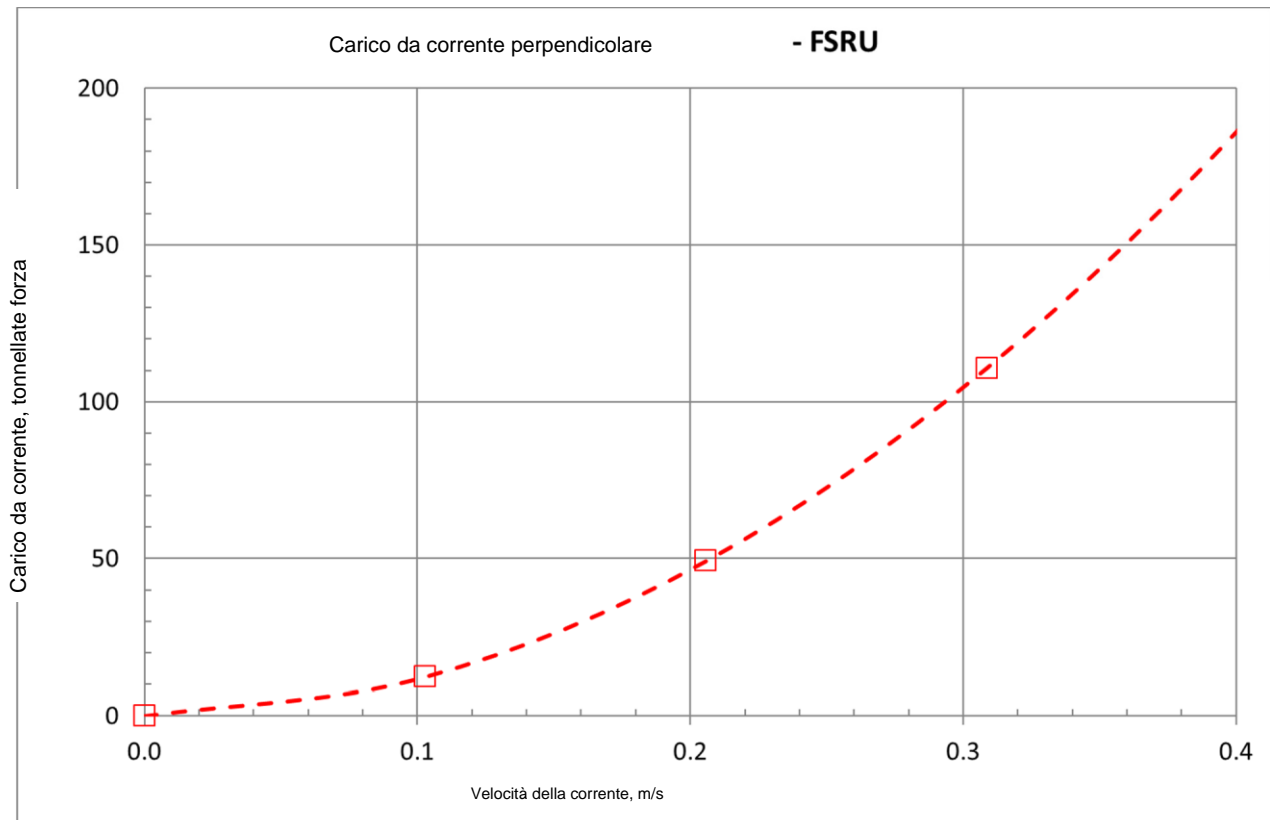


Figura 17: Carico da corrente perpendicolare per CON052

3.4.3 Capacità di propulsione laterale

Secondo Thoresen (2014), la capacità di propulsione laterale può essere convertita da unità di kW a tonnellata forza come segue:

$$\begin{aligned} 120\text{hp} &= 1 \text{ tonnellata} \\ \text{forza } 1\text{hp} &= 0,75\text{kW} \\ 1 \text{ tonnellata forza} &= 90\text{kW} \end{aligned}$$

Per questo studio, in base alla propulsione laterale disponibile per le navi di progetto, è possibile stimare la propulsione laterale massima come segue:

$$\begin{aligned} \text{Elica di manovra podiera: } 2 \times 2,500\text{kW} &= 5,000\text{kW} \\ 5000\text{kW} / (90\text{kW} / \text{tonnellate forza}) &= 55 \\ &\text{tonnellate forza} \\ \text{Elica di manovra poppiera: } &\text{Nessuno} \end{aligned}$$

Poiché le eliche di manovra poppiera non sono presenti, non è possibile ottenere una forza bilanciata a prua e a poppa della nave attraverso i soli propulsori laterali. Tuttavia, è possibile combinare l'uso della propulsione principale, del timone e/o dei rimorchi per resistere ai carichi esterni, ad esempio fino a un massimo di 110 tonnellate forza se alla poppa viene applicata una forza bilanciata di 55 tonnellate forza laterali (ad esempio, usando un rimorchio con potenza traino superiore a 55 tonnellate).

3.4.4 Riepilogo

Sulla base delle stime sopra riportate dei carichi esterni e della capacità di propulsione, la nave di progetto dovrebbe essere in grado di resistere ai carichi esterni con l'assistenza del rimorchio:

Tabella 4: Stime dei carichi esterni e requisiti preliminari di rimorchio

Vento o corrente laterali	Forza laterale (tonnellate)	Rimorchiatore di prua	Rimorchiatore di poppa
velocità del vento Bft 5 (19 kn) o corrente 0,6 kn	110	N. 1 rimorchiatore con potenza di traino da 55 tonnellate (o eliche di manovra podiera)	N. 1 rimorchiatore con potenza di traino da 55 tonnellate
velocità del vento Bft 6 (25 kn)	190	N. 2 rimorchiatori con potenza di traino da 55 tonnellate	N. 2 rimorchiatori con potenza di traino da 55 tonnellate

I risultati sopra:

- Ipotizzano una velocità bassa della nave, ovvero per garantire che i rimorchiatori e/o i propulsori laterali siano operativi; e
- Non considerano aspetti quali i fattori umani, ad esempio il tempo di risposta reale al cambiamento delle condizioni, come le raffiche di vento che possono essere critiche per condizioni di tempesta) e cambiamenti nella direzione del vento o della corrente.

3.5 Simulazioni fast time

Le simulazioni fast time della nave sono state svolte utilizzando il software Shipma 7.0 (Marin, 2013).

3.5.1 Presupposti

Le simulazioni fast time sono state eseguite in base ai seguenti presupposti:

- Il modello di nave utilizzato per la simulazione è il modello CON052 che offre una performance moderata in termini di manovrabilità della nave ma non sarà lo standard per altri tipi di navi o per navi di dimensioni diverse.
- La profondità d'acqua nel nuovo canale d'accesso era di 17,6 metri (ossia, livello di dragaggio di -16 m MSL con livello d'acqua a +1,6 m). Questa profondità d'acqua corrisponde alla profondità d'acqua più bassa alla quale il modello CON052 è stato calibrato.
- A seconda delle condizioni meteorologiche considerate, i giri del propulsore della nave per gli scenari di arrivo variano al fine di garantire la posizione finale della nave nel cerchio di evoluzione, ad esempio, secondo le impostazioni del telegrafo:
 - 30rpm / 9,5kn adagio
 - 18rpm / 5,7kn molto adagio;
- L'uso del rimorchiatore è stato considerato, in base alla manovra e alla posizione della nave, come segue:
 - Arrivi:
 - Canale esterno (ossia, lato mare dell'imbocco del molo di sopraflutto):
 - Nessun ausilio del rimorchiatore
 - N. 1 rimorchiatore di poppa ASD, con potenza di traino da 70T
 - N. 2 rimorchiatori di poppa ASD, con potenza di traino da 70T ognuno
 - Canale interno (ossia, lato terra dell'imbocco del molo di sopraflutto):
 - Nessun ausilio del rimorchiatore
 - N. 1 rimorchiatore di poppa ASD, con potenza di traino da 70T
 - N. 1 rimorchiatore di poppa ASD e n. 1 rimorchiatori di prua ASD, tutti con potenza di traino da 70T
 - N. 2 rimorchiatori di poppa ASD e n. 2 rimorchiatori di prua ASD, tutti con potenza di traino da 70T
 - Partenze:
 - Canale interno (ossia, lato terra dell'imbocco del molo di sopraflutto):
 - N. 1 rimorchiatore di poppa ASD, con potenza di traino da 70T
 - N. 1 rimorchiatore di poppa ASD e n. 1 rimorchiatori di prua ASD, tutti con potenza di traino da 70T
 - N. 2 rimorchiatori di poppa ASD e n. 2 rimorchiatori di prua ASD, tutti con potenza di traino da 70T
 - Canale esterno (ossia, lato mare dell'imbocco del molo di sopraflutto):
 - Nessun ausilio del rimorchiatore
 - N. 1 rimorchiatore di poppa ASD, con potenza di traino da 70T
 - N. 2 rimorchiatori di poppa ASD, con potenza di traino da 70T ognuno
- Durante le simulazioni sono state imposte le seguenti limitazioni sulla manovrabilità della nave (consultare Appendice A1) per mantenere un margine di sicurezza in caso di imprevisti e di manovre non perfettamente eseguite:
 - Il timone è stato limitato al 70% dell'angolo massimo di barra (ossia, limite di 25 gradi per un angolo massimo di barra di 35 gradi)
 - I propulsori sono stati limitati al 70% della capacità di potenza massima (2 eliche di manovra podiera x 2.500 kW)
 - I rimorchiatori sono stati limitati al 70% della capacità di potenza massima
- Le simulazioni di arrivo sono considerate completate quando la nave è ferma nel cerchio di evoluzione interno.

- Le simulazioni di partenza sono considerate completate quando la nave raggiunge il canale esterno.
- Le condizioni meteorologiche erano le seguenti (consultare Sezione 2.3):

Tabella 5: Condizioni meteorologiche per simulazioni fast time

Riferimen to condizioni	Vento*	Onda**	Corrente** *
1	25 kn, da 170°N	da 170°N	corrente trasversale 0,1 kn
2	25 kn, da 250°N	da 250°N	corrente longitudinale 0,5kn e corrente trasversale 0,6kn
3	25 kn, da 290°N	da 290°N	corrente longitudinale 0,2kn e corrente trasversale 0,2kn
4****	25 kn, da 120°N	Nessuno	nessuno

- Nota:
- * le velocità del vento sono costanti in tutto il dominio del modello
 - ** consultare la **Tabella 2** per altezza d'onda e periodo
 - *** la velocità della corrente è indicata in knots (kn), dove 1kn corrisponde indicativamente a 0,5m/s. Le direzioni della corrente longitudinale e trasversale sono indicate rispetto alla mezzeria del canale
 - **** il riferimento 4 delle condizioni simula un vento trasversale da ESE. L'onda e la corrente non sono comprese poiché queste forze agiscono in direzione opposta al vento da ESE, riducendo il carico complessivo della nave.

3.5.2 Simulazioni eseguite

Di seguito si riporta l'elenco dei cicli di simulazioni fast time, compresi i risultati dell'assistenza del rimorchiatore per simulazioni di successo, definite soprattutto da:

- Posizione finale della nave nel cerchio di evoluzione (arrivi) o nel canale esterno (partenze); e
- Margine/distanza adeguati tra la nave e le strutture.

Le mappe esemplificative dei cicli di simulazione sono riportate nell'Appendice A2.

Tabella 6: Sintesi e risultati delle simulazioni di navigazione fast time

Rif.	Arrivo/Partenza	Vento	Condizione di vento e corrente*	Rimorchiatori**	Note
Da A01 a A11	Arrivo	varie	varie	Nessuno o 1 x poppa	Cicli di prova per valutare gli effetti delle condizioni meteorologiche e verificare/convalidare il modello
A12	Arrivo	170°N a 25 kn	Rif. condizioni 1 (170°N)	1 x poppa	N. 1 rimorchiatore per mantenere la rotta riducendo la velocità all'interno del porto
A13	Arrivo	250°N a 25 kn	Rif. condizioni 2 (250°N)	2 x poppa 2 x prua	Rimorchiatori necessari per evitare deviazioni di rotta e contatto con i moli di sottoflutto
A14	Arrivo	290°N a 25 kn	Rif. condizioni 3 (290°N)	1 x poppa	N. 1 rimorchiatore per mantenere la rotta durante il completamento dell'evoluzione tra i moli di sottoflutto
A15	Arrivo	120°N a 25 kn	Rif. Condizioni 4 Nessuna	1 x poppa	N. 1 rimorchiatore per mantenere la rotta riducendo la velocità all'interno del porto
D12	Partenza	170°N a 25 kn	Rif. condizioni 1 (170°N)	2 x poppa 2 x prua	Rimorchiatori necessari per assistere la nave verso il canale esterno man mano che aumenta la sua velocità
D13	Partenza	250°N a 25 kn	Rif. condizioni 2 (250°N)	2 x poppa 2 x prua	Rimorchiatori necessari per assistere la nave verso il canale esterno man mano che aumenta la sua velocità Rotte della nave spostata a dritta per aumentare la distanza dai moli di sopraflutto
D14	Partenza	290°N a 25 kn	Rif. condizioni 3 (290°N)	2 x poppa 2 x prua	Rimorchiatori necessari per assistere la nave verso il canale esterno man mano che aumenta la sua velocità Rotte della nave spostata a dritta per aumentare la distanza dai moli di sopraflutto
D15	Partenza	120°N a 25 kn	Rif. Condizioni 4 Nessuna	2 x poppa 2 x prua	Rimorchiatori necessari per assistere la nave verso il canale esterno man mano che aumenta la sua velocità

Nota: * Consultare la **Tabella 5** per le condizioni meteorologiche
 ** Tutti i rimorchiatori sono di tipo ASD con potenza di traino di 70 tonnellate come indicato nella Sezione 3.4.1.

3.5.3 Riepilogo dei risultati ottenuti

In base alle simulazioni di manovra fast time (consultare esempi in Appendice A2), si è concluso che alle condizioni della simulazione, la CON052 dovrebbe essere in grado di navigare in sicurezza dal mare alla banchina per container. Lo stesso vale per la partenza verso il mare, compresa l'evoluzione nell'area di manovra.

Per gli scenari di arrivo è richiesta l'assistenza di n. 1 rimorchiatore di poppa, ad eccezione del riferimento di condizioni meteorologiche 1 (vento da 250°N) che richiede l'assistenza di n. 2 rimorchiatori di poppa e n. 2 rimorchiatori di prua per garantire una distanza adeguata tra la nave e le strutture del porto. Per tutti gli scenari di partenza, sono necessari n. 2 rimorchiatori di prua e n. 2 rimorchiatori di poppa per garantire una distanza adeguata tra la nave e le strutture del porto prima che la nave entri nel canale esterno.

Considerata la limitazione sul timone, l'uso di eliche e rimorchiatore indicato nella Sezione 3.4.1, si è concluso che con una capacità di riserva del 30% vi è un margine di sicurezza sufficiente nella governabilità della nave.

Nel nuovo canale d'accesso, quando non si utilizzano i rimorchiatori, il vento trasversale provoca angoli di deriva ampi che allargano il percorso di manovra della nave di 2–3 volte il baglio della stessa, e l'uso del rimorchiatore è necessario per ridurre l'angolo di deriva. Senza rimorchiatori, la nave non sarebbe in grado di utilizzare con sicurezza il nuovo canale d'accesso nelle condizioni simulate di vento, onde e corrente.

4 Conclusioni

4.1 Riepilogo

Sulla base del PIANC (2014), la larghezza stimata del canale di navigazione risulterebbe lievemente maggiore rispetto alle dimensioni del progetto attuale mentre le dimensioni dell'area di evoluzione sono potenzialmente adeguate in base a Thoresen (2014) e ROM (1999). Le stime di vento e di carico di corrente, secondo Hensen (2003), indicano che n. 4 rimorchiatori con potenza di traino di 55 tonnellate dovrebbero essere adeguati per controllare la nave di progetto, vale a dire in base a una nave statica e senza considerare i carichi delle onde.

Quanto sopra è stato confermato dalle simulazioni di navigazione fast time che hanno compreso gli effetti delle forze di vento, corrente e onde. I risultati della simulazione indicano che la nave di progetto può arrivare e partire usando il nuovo canale di navigazione con l'assistenza di n. 4 con potenza di traino da 70 tonnellate, vale a dire n. 2 rimorchiatori di poppa e n. 2 rimorchiatori di prua.

4.2 Raccomandazioni

Quanto segue deve essere considerato nelle fasi successive dello sviluppo del progetto e delle istruzioni operative:

- Revisione da parte di un capitano/comandante con esperienza sulla nave specifica
- Simulazioni real time al fine di:
 - Confermare il layout di progetto e di coinvolgere l'operatore umano nel processo di manovra
 - Permettere ai comandanti e capitani di familiarizzare con la nave e la situazione su un simulatore real time da un ponte di comando "virtuale"
 - Valutare l'uso di un rimorchiatore e applicazione pratica, ad esempio per garantire che i rimorchiatori possano applicare una potenza adeguata vicino alle strutture, attraverso l'imboccatura del porto (vicino alle teste arrotondate del molo) e nell'area di evoluzione.
- Disposizione di ausili alla navigazione tra cui:
 - Boe galleggianti a indicare i punti di interesse principali per la navigazione/manovra
 - Uso di linee di guida attraverso passaggi stretto
- Ulteriori studi e simulazioni di navigazione per valutare:
 - Condizioni meteorologiche limitanti (ad esempio, vento e onde) per cui può essere impiegato un numero inferiore di rimorchiatori.
 - Potenziale traffico bidirezionale nel canale, vale a dire per navi più piccole e in condizioni meteorologiche opportune.
 - Requisiti di navigazione adeguati per altre navi che usano il canale, ad esempio ro-ro, container di dimensioni minori e navi portarinfuse, compresa l'assistenza del rimorchiatore e le limitazioni ambientali.

5 Riferimenti bibliografici

Incontro F&M (2019a) con la Guardia costiera, 24 ottobre 2019.

F&M (2019b) Progettazione Preliminare e Definitiva Delle Opere Marittime di Difesa e dei Dragaggi Previsti Nella Nuova Prima Fase di Attuazione Della Piattaforma Europa, Compreso lo Studio di Impatto Ambientale e la Valutazione di Incidenza Ambientale, Progetto Preliminare, Z - Documenti di Supporto, Studio Della Dinamica Litoranea, 26 Agosto 2019, file: 1233_PP-Z-008_0.doc, J.N.: 1233/19

Marin 2013 SHIPMA 7.0, User's Guide.

Neri (2019a) <https://www.nerigroup.net/fleet/tugboats/>

Neri (2019b) incontro con marina HS, 16 ottobre 2019.

PIANC (Permanent International Association of Navigation Congresses) (1997) Approach Channels, A Guide for Design, Report of Working Group II-30, Supplement to Bulletin No. 95, June 1997.

ROM 3.1-1999 Recommendations for Design of the Maritime Configuration of Ports, Approach Channels and Harbour Basins

RINA (Royal Institution of Naval Architects) (2013) Significant Ships

Thoresen CA (2014) Port Designer's Handbook: Raccomandazioni e linee guida:

UKHO (2018) NP46, Admiralty Sailing Directions, Mediterranean Pilot Volume 2.

A1 **Modello della nave**

Descrizione della nave

con052r2 NAVE

CONTAINER

Loa (Lpp) x B x T =

400,00 (383,70) x 59,00 x 16,00 m3

Settembre 2014

Numero progetto: 27500.770

Descrizione della nave: con052r2

Indice

Parte A DATI GENERALI

1. Dimensioni e dati della nave
2. Azioni del vento
3. Azioni delle onde
4. Scheda tecnica della nave

Parte B RISULTATI DEI TEST DI MANOVRA, TABELLE E MAPPE

Profondità dell'acqua 1 = 17.6 m

- 1.1 Test del cerchio di evoluzione; d=20 deg
- 1.2 Test del cerchio di evoluzione; d=35 deg
- 1.3 Test Zig Zag 20/20
- 1.4 Manovra di arresto
- 1.5 Test di accelerazione

Profondità dell'acqua 2 = 19.2 m

- 2.1 Test del cerchio di evoluzione; d=20 deg
- 2.2 Test del cerchio di evoluzione; d=35 deg
- 2.3 Test Zig Zag 20/20
- 2.4 Manovra di arresto
- 2.5 Test di accelerazione

A. DATI GENERALI

con052r2

1. Dimensioni e dati della nave

Tipo della nave	-	NAVE CONTAINER
Lunghezza fuori tutto	[m]	400,00
Lunghezza tra le perpendicolari	[m]	383,70
Baglio	[m]	59,00
Profondità	[m]	30,20
Pescaggio a mezza nave	[m]	16,00
Pescaggio di prua	[m]	16,00
Pescaggio di poppa	[m]	16,00
Spostamento	[t]	259900
Tonnellaggio di portata lorda (pieno carico)	[t]	196000
Pescaggio massimo (pieno carico)	[m]	16,00
Tipo di motore	[-]	Diesel
Potenza	[kW]	2x29680
Numero di giri	[rpm]	73
Velocità di crociera	[kn]	23,1
Numero di propulsori	[-]	2
Diametro dei propulsori	[m]	9,65
Rapporto passo	[-]	1,04
Numero di timoni	[-]	2
Area vento frontale	[m2]	2938
Area vento laterale	[m2]	14813
Elica di manovra podiera	[kW]	2x2500
Elica di manovra poppiera	[kW]	-

2. Azioni del vento

**	Angolazioni vento: WALFA [deg]							
**								
	0	10	20	30	40	50	60	70
	80	90	100	110	120	130	140	150
	160	170	180					
**								
**	record		6					
**								
**	Coefficiente X:		CXW		[-]			
**								
	0,4265	0,5489	0,5938	0,6261	0,5924	0,5561	0,4178	0,2221
	0,0708	-0,0629	-0,1148	-0,2366	-0,3073	-0,4183	-0,4890	-0,5326
	-0,4985	-0,4703	-0,4774					
**								
**	Coefficiente Y:		CYW		[-]			
**								
	0,0000	0,1158	0,2813	0,4694	0,6255	0,7055	0,7715	0,8150
	0,8413	0,8579	0,8594	0,8618	0,8493	0,7819	0,6578	0,4811
	0,2942	0,1198	0,0000					
**								
**	Coefficiente N:		CNW		[-]			
**								
	0,0000	-0,0347	-0,0676	-0,0909	-0,1041	-0,0931	-0,0748	-0,0557
	-0,0349	-0,0124	0,0160	0,0296	0,0460	0,0640	0,0632	0,0550
	0,0450	0,0270	0,0000					
**								
**								

3. Azioni delle onde

Le azioni delle onde sono state calcolate con il programma DBSHIP di MARIN.

Tutti i calcoli sono stati effettuati ipotizzando uno spettro di onda JONSWAP e una profondità d'acqua di 20 m

Tp=8 s

Tp=10 s

Alfa [deg]	Forza X [N]	Forza Y [N]	Moment o [Nm]	Forza X [N]	Forza Y [N]	Momento [Nm]
0	7.1000E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	8.7000E+03	0.0000E+00	0.0000E+00
10	7.8000E+03	9.2000E+03	-4.6100E+04	9.3000E+03	1.4600E+04	-2.6130E+05
20	7.8000E+03	2.2700E+04	-1.2340E+05	9.6000E+03	3.4300E+04	-5.6340E+05
30	6.9000E+03	4.0900E+04	-2.5160E+05	9.0000E+03	5.9700E+04	-8.0170E+05
40	5.6000E+03	6.2900E+04	-3.8450E+05	8.8000E+03	8.9200E+04	-1.2205E+06
50	3.8000E+03	8.9900E+04	-5.0950E+05	9.6000E+03	1.2400E+05	-2.0574E+06
60	2.0000E+03	1.1720E+05	-5.8510E+05	1.0700E+04	1.5830E+05	-3.0181E+06
70	1.7000E+03	1.3680E+05	-5.8980E+05	8.4000E+03	1.7910E+05	-2.8984E+06
80	1.0000E+03	1.4700E+05	-4.9900E+05	4.4000E+03	1.9010E+05	-2.2374E+06
90	-1.0000E+02	1.4790E+05	-3.1290E+05	-1.3000E+03	1.9110E+05	-1.0350E+06
100	-4.5000E+03	1.3360E+05	7.8600E+04	-8.5000E+03	1.8310E+05	6.1360E+05
110	-8.6000E+03	1.1430E+05	4.2480E+05	-1.4500E+04	1.6810E+05	1.9788E+06
120	-9.2000E+03	1.0020E+05	4.0900E+05	-1.4600E+04	1.4780E+05	1.7312E+06
130	-8.7000E+03	8.5100E+04	3.0050E+05	-1.2900E+04	1.2360E+05	1.1080E+06
140	-7.7000E+03	6.5800E+04	1.8610E+05	-1.0700E+04	9.4700E+04	5.4500E+05
150	-7.1000E+03	4.3900E+04	1.4040E+05	-9.5000E+03	6.4800E+04	3.8130E+05
160	-6.4000E+03	2.2800E+04	1.0150E+05	-8.5000E+03	3.6200E+04	2.9400E+05
170	-6.3000E+03	9.1000E+03	5.2200E+04	-8.0000E+03	1.5500E+04	1.4750E+05
180	-6.4000E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	-8.0000E+03	0.0000E+00	0.0000E+00

Tp=12 s

Alfa [deg]	Forza X [N]	Forza Y [N]	Moment o [Nm]
0	1.1400E+04	0.0000E+00	0.0000E+00
10	1.2100E+04	1.5500E+04	-3.9260E+05
20	1.2600E+04	3.7000E+04	-7.0120E+05
30	1.2000E+04	6.6300E+04	-4.8690E+05
40	1.2600E+04	9.9300E+04	-7.7400E+05
50	1.6600E+04	1.3580E+05	-2.3359E+06
60	2.1600E+04	1.6970E+05	-4.6086E+06
70	1.6500E+04	1.9230E+05	-4.3714E+06
80	8.2000E+03	2.0420E+05	-3.1344E+06
90	-3.4000E+03	2.0540E+05	-8.9740E+05
100	-1.3700E+04	1.9260E+05	1.6716E+06
110	-2.1600E+04	1.7310E+05	3.6370E+06
120	-2.0900E+04	1.5440E+05	2.6508E+06
130	-1.8000E+04	1.3230E+05	1.1454E+06
140	-1.4700E+04	1.0320E+05	1.2080E+05
150	-1.3300E+04	7.0200E+04	1.3920E+05
160	-1.2300E+04	3.8100E+04	3.8800E+05
170	-1.1500E+04	1.6000E+04	2.5400E+05
180	-1.0900E+04	0.0000E+00	0.0000E+00

4. Scheda tecnica della nave

Dimensioni principali		Motore	
Lunghezza fuori tutto	400,00 m	Tipo:	Diesel
Baglio	59,00 m	Potenza:	2x29680 kW
Pescaggio a pieno carico	16,00 m	Giri max.:	73 rpm
Dislocamento a pieno carico	259900 t	Elica di manovra podiera:	2x2500 kW
Tonnellaggio di zavorra	196000 t	Elica di manovra poppiera:	- kW

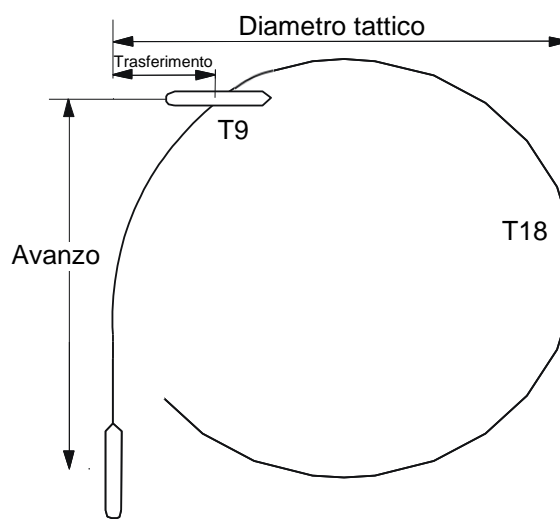
Impostazione telegrafo	rpm	Velocità [kn]	Arresto forzato		
			Distanza	Tempo di arresto	
			[mile]	[min]	[sec]
MARE APERTO	73	23,1	2,93	13	9
TUTTA	59	18,6			
MEZZA	42	13,3			
ADAGIO	30	9,5			
MOLTO ADAGIO	18	5,7			

Telegrafo	Timone	Avanzo	Trasferimento	T90		Diam. tattico
		[mile]	[mile]	[min]	[sec]	[mile]
MARE APERTO	P	0,60	0,26	2	16	0,64
	SB	0,61	0,26	2	20	0,66
MEZZA	P	0,58	0,26	3	53	0,64
	SB	0,60	0,26	4	0	0,65

AVVERTENZA:

La risposta della nave può essere diversa da quella indicata sopra al variare di una delle condizioni su cui si basano le informazioni di manovra:

1. Tempo calmo – vento 8 nodi o inferiore, mare calmo.
2. Nessuna corrente.
3. Profondità d'acqua doppia o superiore al pescaggio della nave.
4. Scafo pulito.
5. Condizioni di carico PIENO CARICO



1.1 Prova del cerchio di evoluzione

Profondità d'acqua 1 = 17,60 m

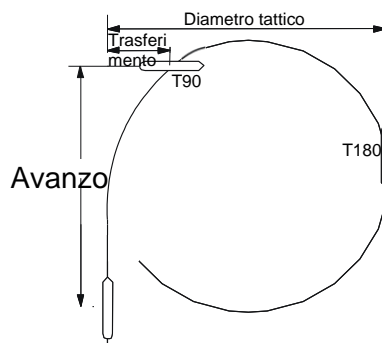
INPUT:

Velocità iniziale	[m/s]	5,11
Numero di giri	[1/s]	0,7
Angolo di barra	[deg]	20

RISULTATI:

		Dritta	Sinistra
Avanzo	[m]	2201	-
Trasferimento	[m]	1859	-
Diametro tattico	[m]	3804	-
Diametro finale	[m]	3759	-
T90	[s]	668	-
T180	[s]	1301	-
T270	[s]	1935	-
T360	[s]	2568	-
uf	[m/s]	4,66	4,66
vf	[m/s]	-0,153	0,153
rf	deg/s]	0,1421	-0,1421

Vedere anche
Figura 1.1



1.2 Prova del cerchio di evoluzione - B.2 -

Profondità d'acqua 1 = 17,60 m

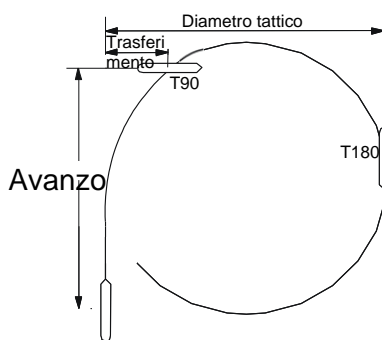
INPUT:

Velocità iniziale	[m/s]	5,11
Numero di giri	[1/s]	0,7
Angolo di barra	[deg]	35

RISULTATI:

		Dritta	Sinistra
Avanzo	[m]	1493	-
Trasferimento	[m]	1129	-
Diametro tattico	[m]	2318	-
Diametro finale	[m]	2203	-
T90	[s]	469	-
T180	[s]	908	-
T270	[s]	1348	-
T360	[s]	1788	-
uf	[m/s]	3,92	3,92
vf	[m/s]	-0,24	0,24
rf	deg/s]	0,2043	-0,2043

Vedere anche
Figura 1.2



**1.3 Prova di manovra
a zig-zag**

Profondità d'acqua 1 = 17,60 m

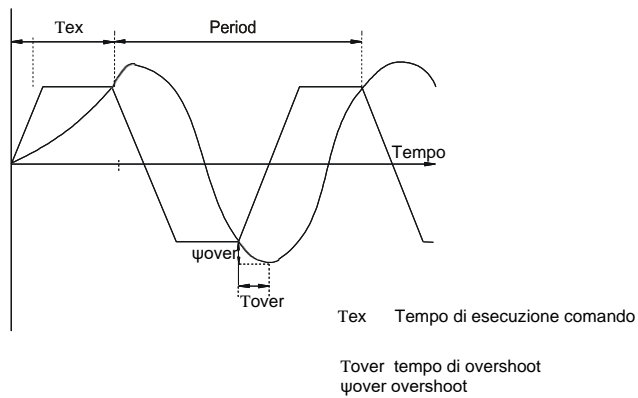
INPUT:

Velocità iniziale	[m/s]	5,11
Numero di giri	[1/s]	0,7
Angolo di barra	[deg]	20/20

RISULTATI:

Tex	[s]	177,8
Tovershoot	[s]	33,2
Angolo di overshoot	[deg]	3,0
Periodo	[s]	744,8

Vedere anche Figura 1.3 e 1.4



1.4 Prova di manovra di arresto

Profondità d'acqua 1 = 17,60 m

INPUT:

Velocità iniziale	[m/s]	5,11
Numero di giri a prua	[1/s]	0,7
Numero di giri a poppa	[deg]	-0,7

RISULTATI:

Tempo di arresto	[s]	513
Distanza di arresto	[m]	1387
Direzione dopo l'arresto	[deg]	0,0
Deviazione di rotta	[m]	0,0

Vedere anche Figura 1.5 e 1.6

1.5 Manovra di arresto di accelerazione

Profondità d'acqua 1 = 17,60 m

INPUT:

Velocità iniziale	[m/s]	0,01
Numero di giri a prua	[1/s]	0,7

RISULTATI:

Velocità finale	[m/s]	5,04
Tempo per raggiungere questa velocità	[s]	1328
Distanza per raggiungere questa velocità	[m]	4895

Vedere anche Figura 1.7

2.1 Prova del cerchio di evoluzione

Profondità d'acqua 2 = 19,2 m

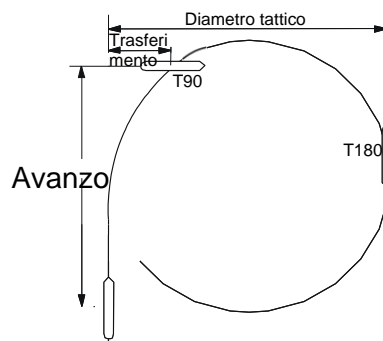
INPUT:

Velocità iniziale	[m/s]	5,76
Numero di giri	[1/s]	0,7
Angolo di barra	[deg]	20

RISULTATI:

		Dritta	Sinistra
Avanzo	[m]	1770	-
Trasferimento	[m]	1353	-
Diametro tattico	[m]	2850	-
Diametro finale	[m]	2753	-
T90	[s]	464	-
T180	[s]	904	-
T270	[s]	1347	-
T360	[s]	1790	-
uf	[m/s]	4,86	4,86
vf	[m/s]	-0,375	0,375
rf	[deg/s]	0,2031	-0,2031

Vedere anche
Figura 2.1



2.2 Prova del cerchio di evoluzione

Profondità d'acqua 2 = 19,2 m

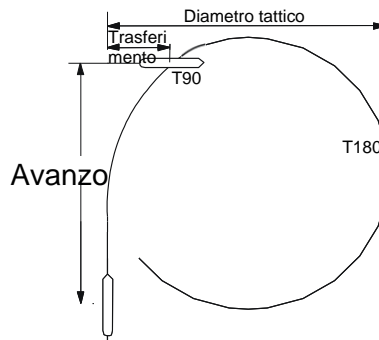
INPUT:

Velocità iniziale	[m/s]	5,76
Numero di giri	[1/s]	0,7
Angolo di barra	[deg]	35

RISULTATI:

		Dritta	Sinistra
Avanzo	[m]	1251	-
Trasferimento	[m]	833	-
Diametro tattico	[m]	1779	-
Diametro finale	[m]	1587	-
T90	[s]	336	-
T180	[s]	658	-
T270	[s]	986	-
T360	[s]	1315	-
uf	[m/s]	3,74	3,74
vf	[m/s]	-0,512	0,512
rf	[deg/s]	0,2728	-0,2728

Vedere anche
Figura 2.2



2.3 Prova di manovra
a zig-zag

Profondità d'acqua 2 = 19,2 m

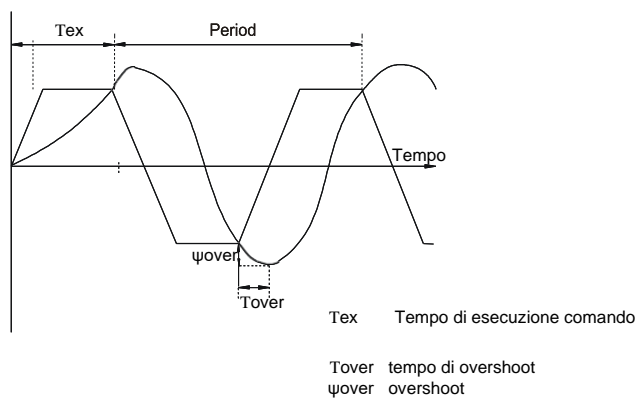
INPUT:

Velocità iniziale	[m/s]	5,76
Numero di giri	[1/s]	0,7
Angolo di barra	[deg]	20/20

RISULTATI:

Tex	[s]	127,3
Tovershoot	[s]	32,0
Angolo di overshoot	[deg]	3,9
Periodo	[s]	557,9

Vedere anche Figura 2.3 e 2.4



2.4 Prova di manovra di arresto

Profondità d'acqua 2 = 19,2 m

INPUT:

Velocità iniziale	[m/s]	5,76
Numero di giri a prua	[1/s]	0,7
Numero di giri a poppa	[deg]	-0,7

RISULTATI:

Tempo di arresto	[s]	546
Distanza di arresto	[m]	1675
Direzione dopo l'arresto	[deg]	0,0
Deviazione di rotta	[m]	0,0

Vedere anche Figura 2.5 e 2.6

2.5 Manovra di arresto di accelerazione

Profondità d'acqua 2 = 19,2 m

INPUT:

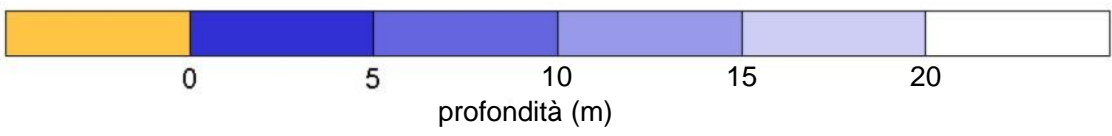
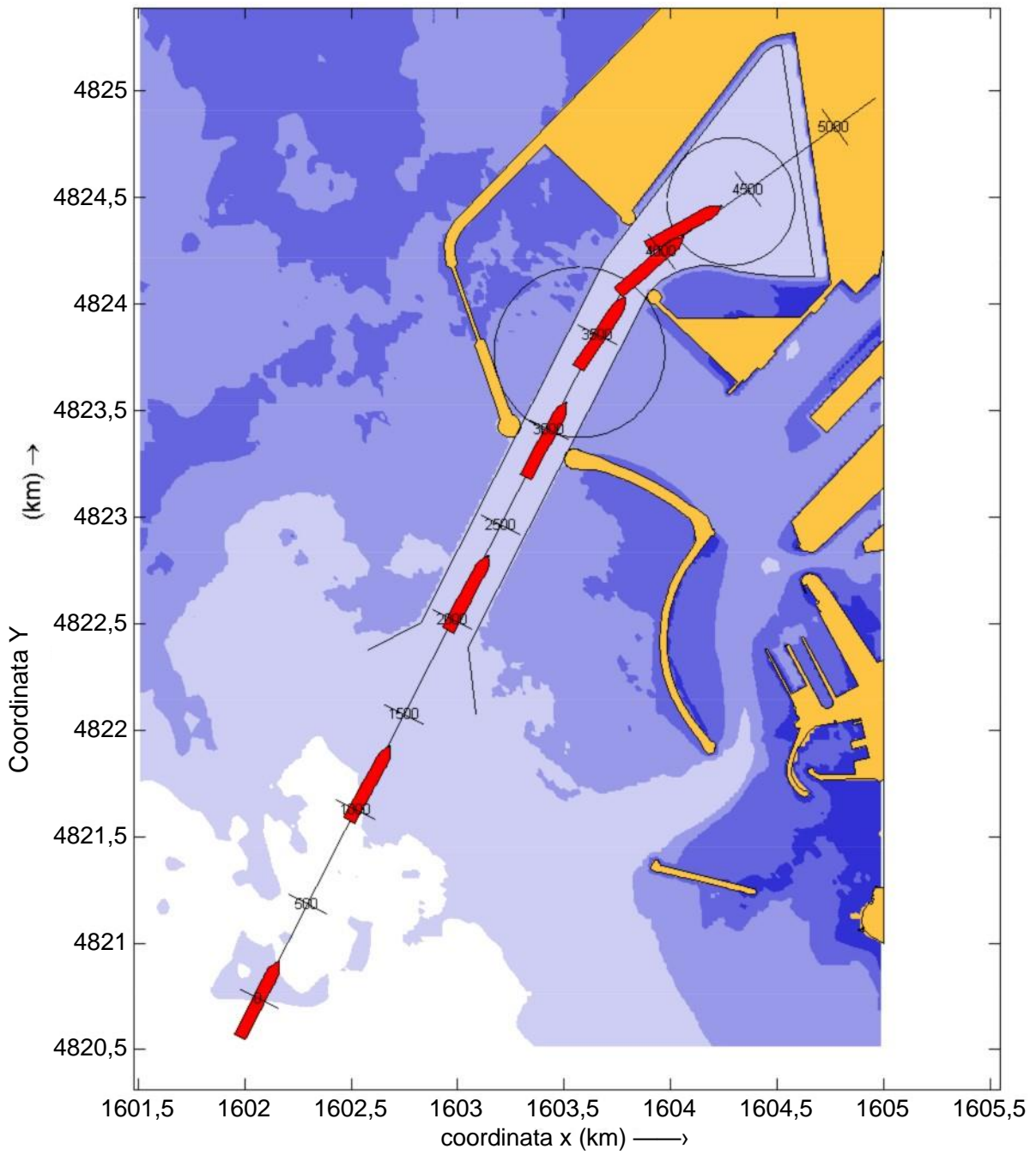
Velocità iniziale	[m/s]	0,01
Numero di giri a prua	[1/s]	0,7

RISULTATI:

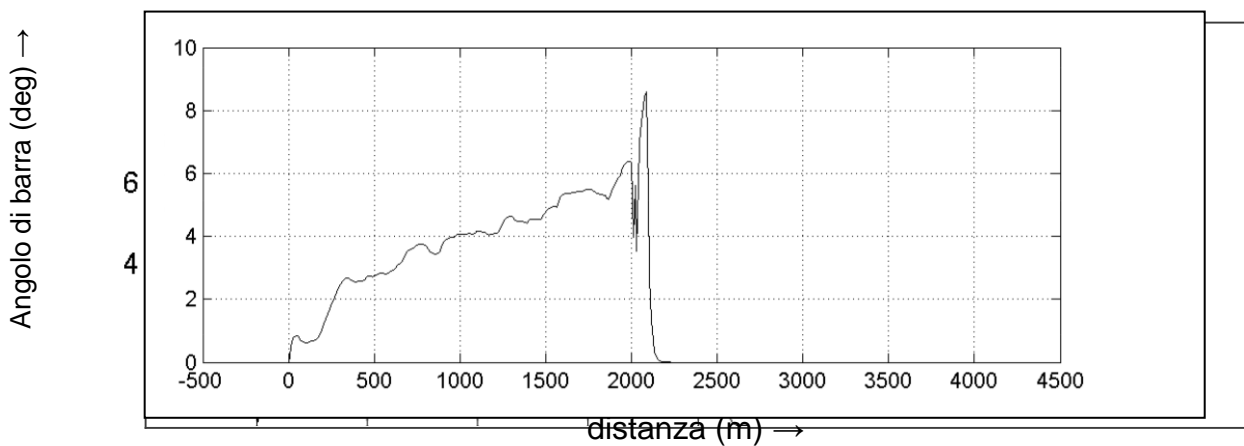
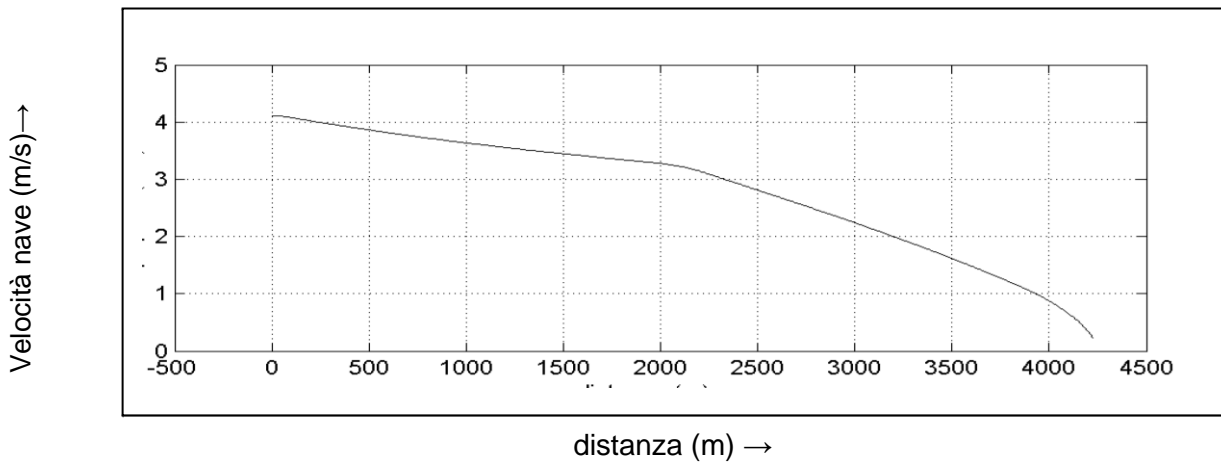
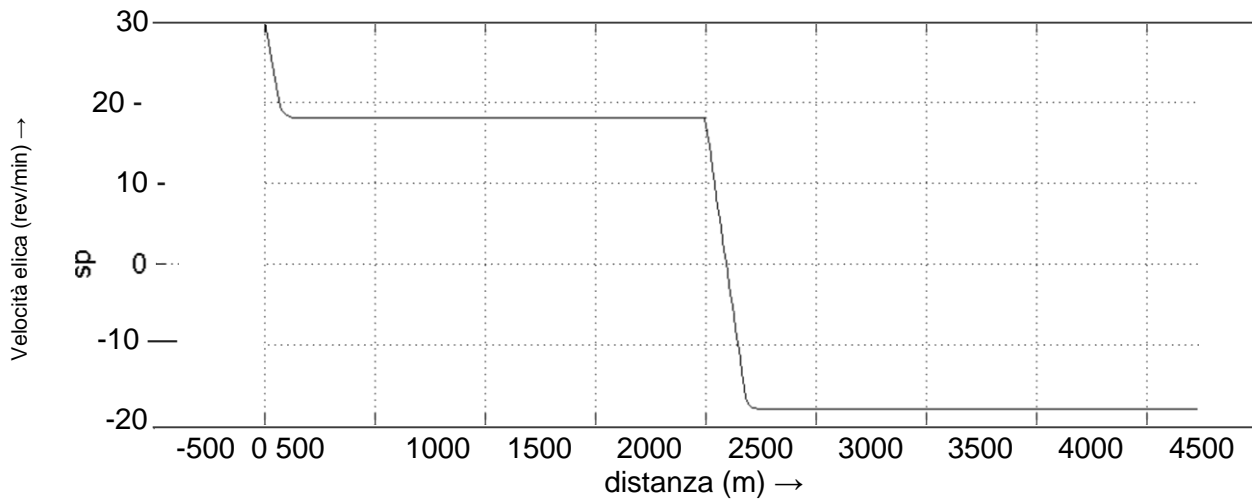
Velocità finale	[m/s]	5,59
Tempo per raggiungere questa velocità	[s]	1255
Distanza per raggiungere questa velocità	[m]	4890

Vedere anche Figura 2.7

A2 Modelli di simulazione esemplificativi



Mappa panoramica di rotta e profondità	PB9376-Livorno	A12.3-WSC1-1xS
	SHIPMA 7.4.0	
Royal HaskoningDHV		Fig. A



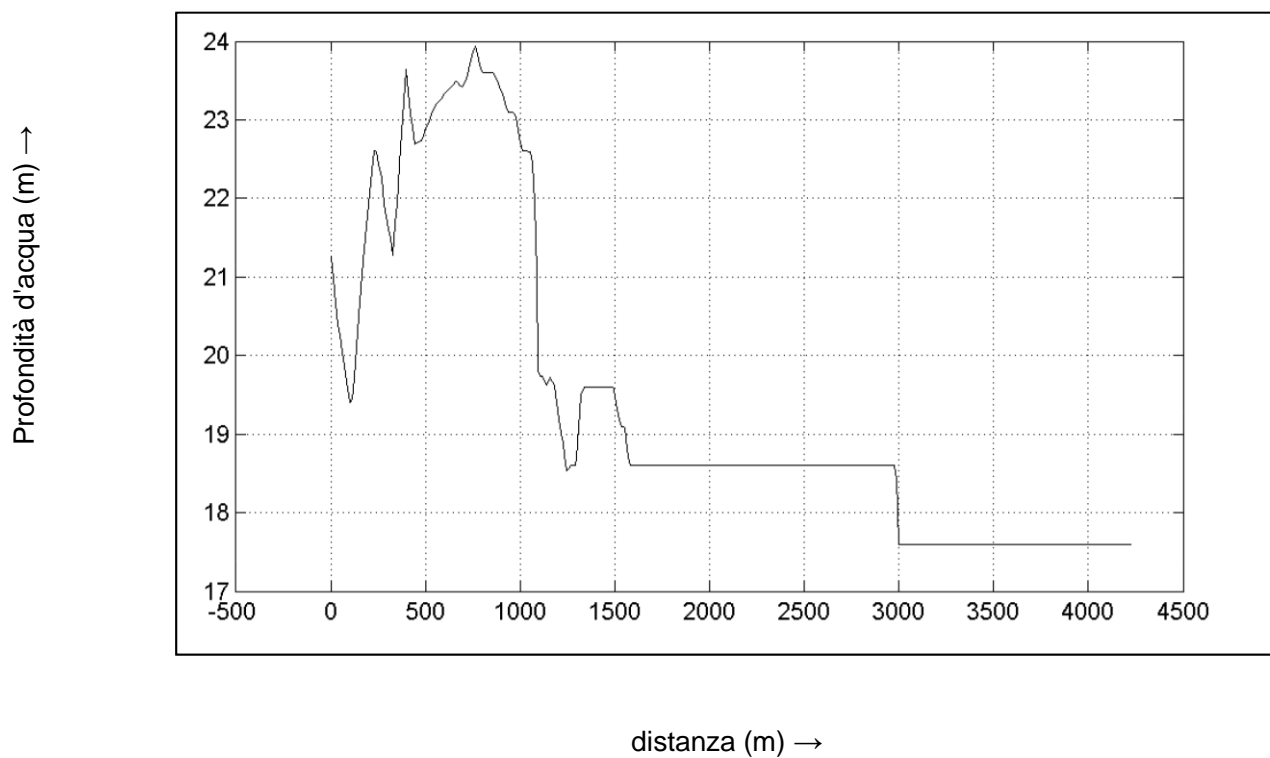
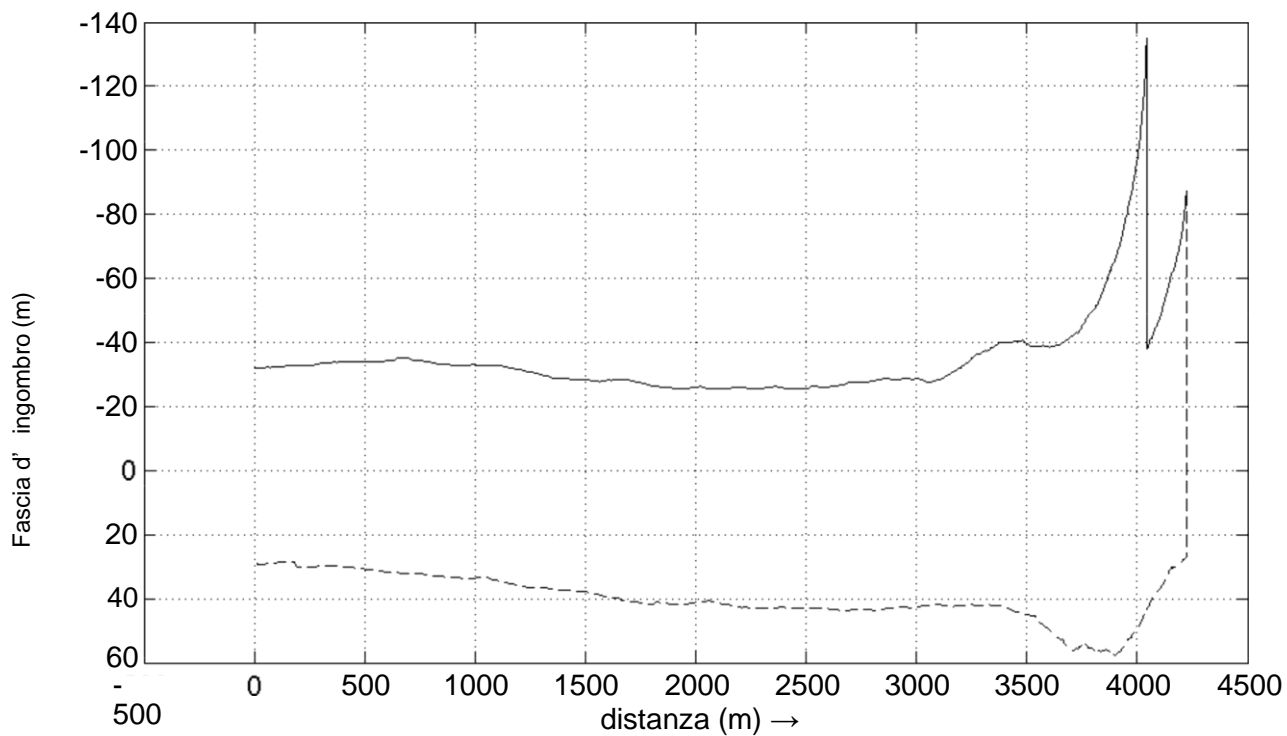
Velocità propulsore, velocità nave e mappa
angolo di barra

PB9376-Livorno A12.3-WSC1-1xS

SHIPMA 7.4.0

Royal HaskoningDHV

Fig. B

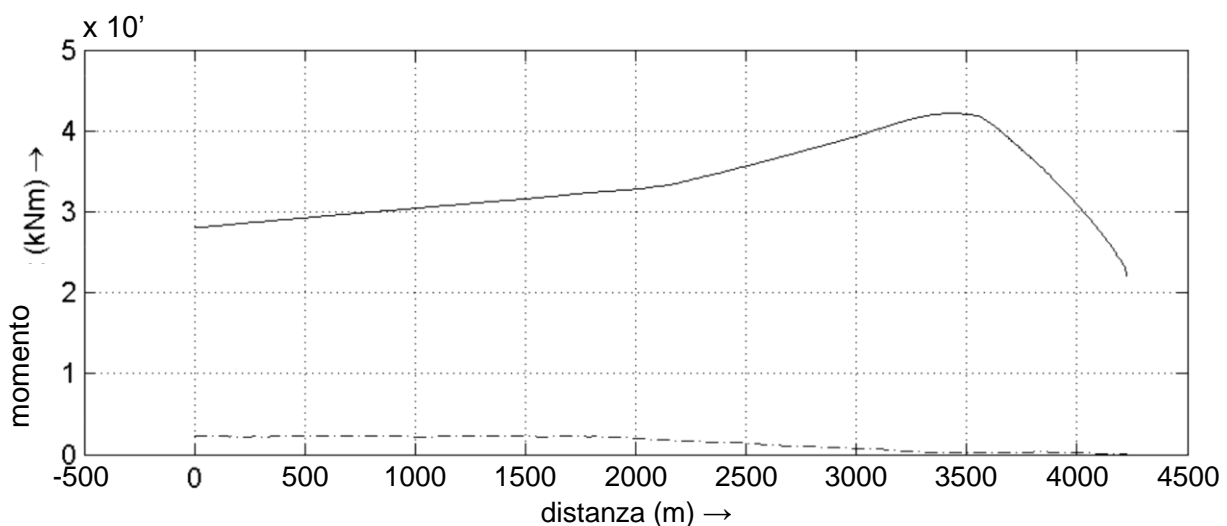
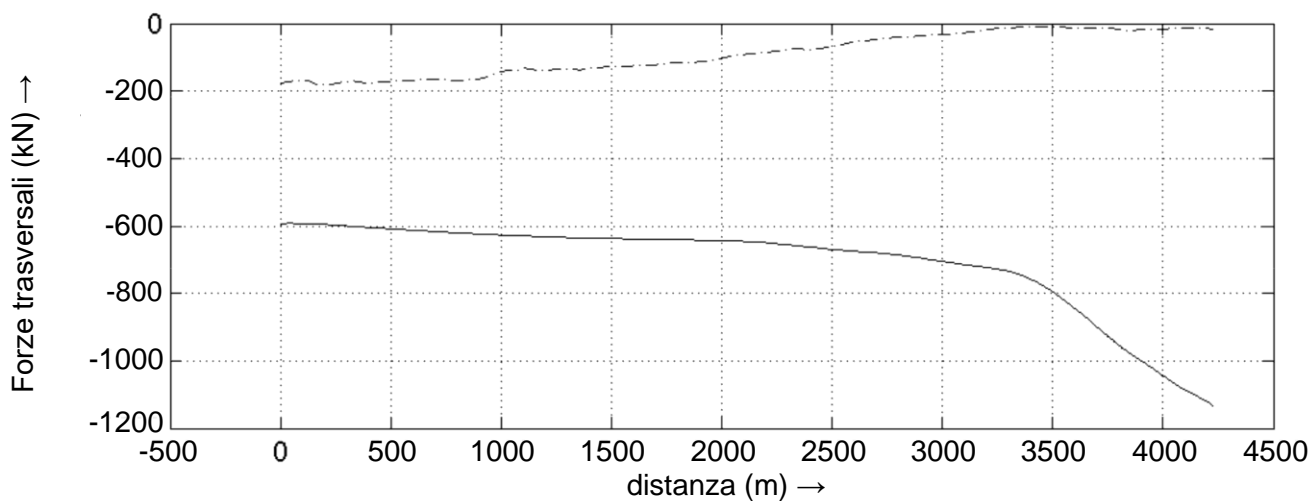
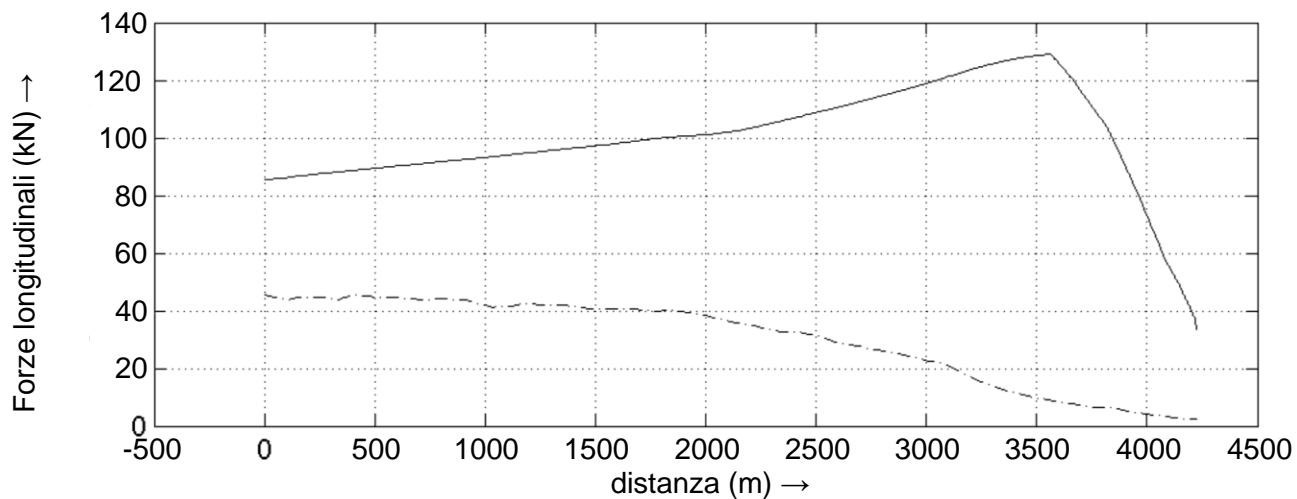


Fascia d'ingombro e profondità a dritta (tratteggiato)
e a sinistra (linea continua)

PB9376-Livorno

A12.3-WSC1-1xS

SHIPMA 7.4.0



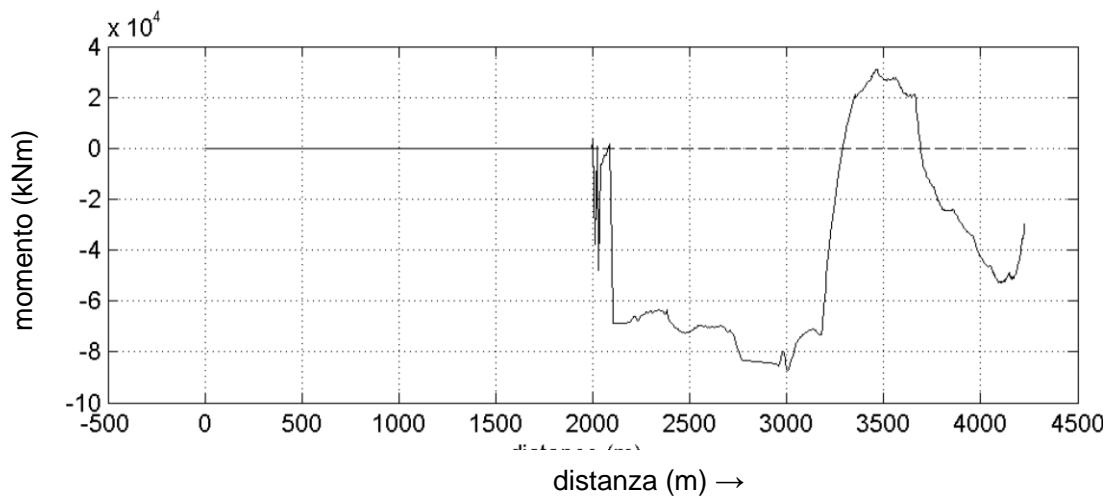
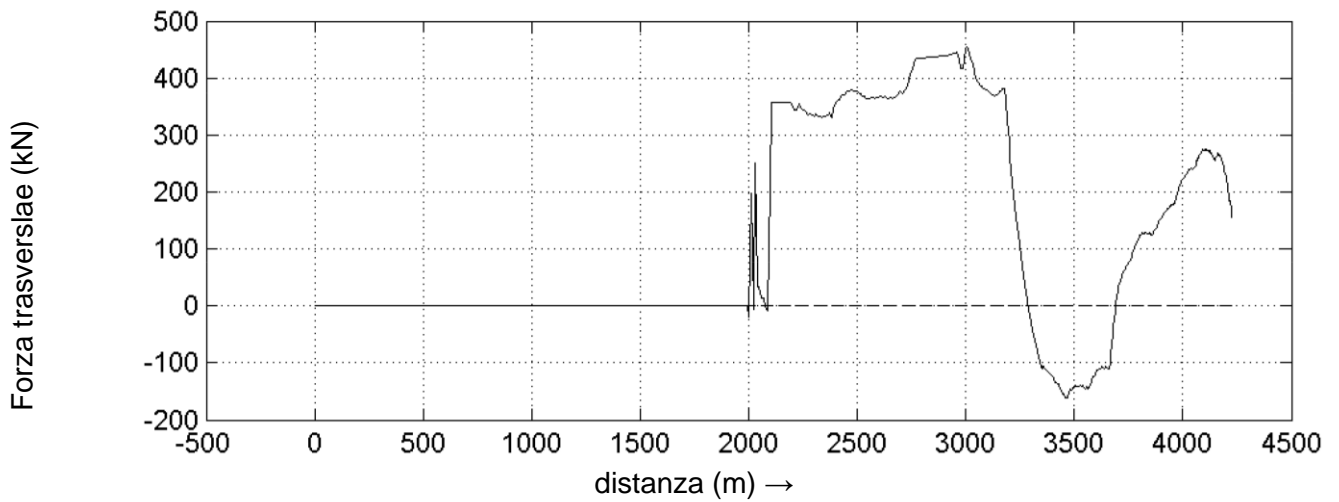
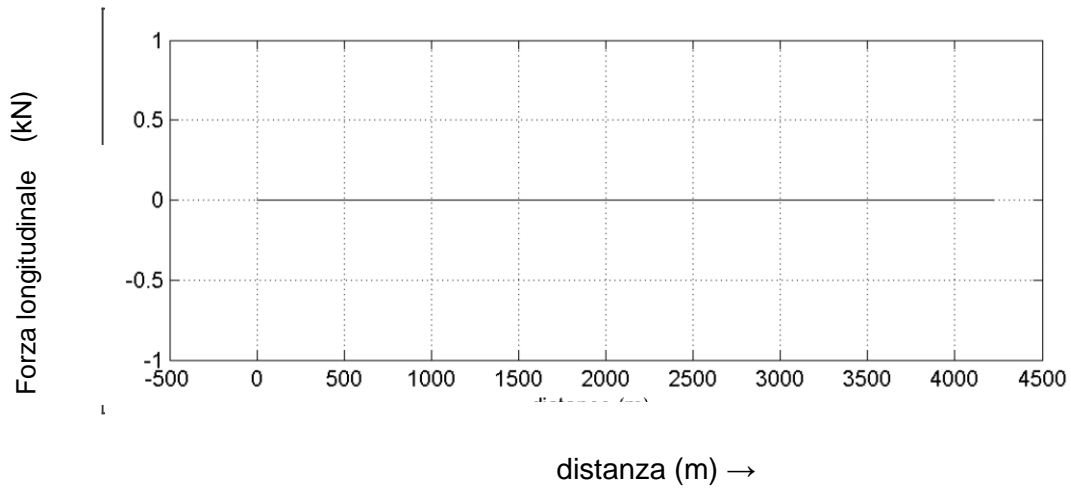
Mappe forze esterne
 Vento (linea continua), onde (tratteggiata), mare lungo (tratto e punto) ed effetto banco (punteggiato)

PB9376-Livorno A12.3-WSC1-1xS

SHIPMA 7.4.0

Royal HaskoningDHV

Fig. D



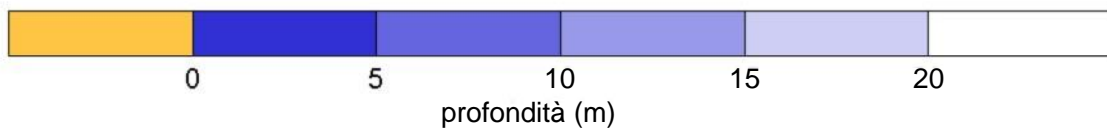
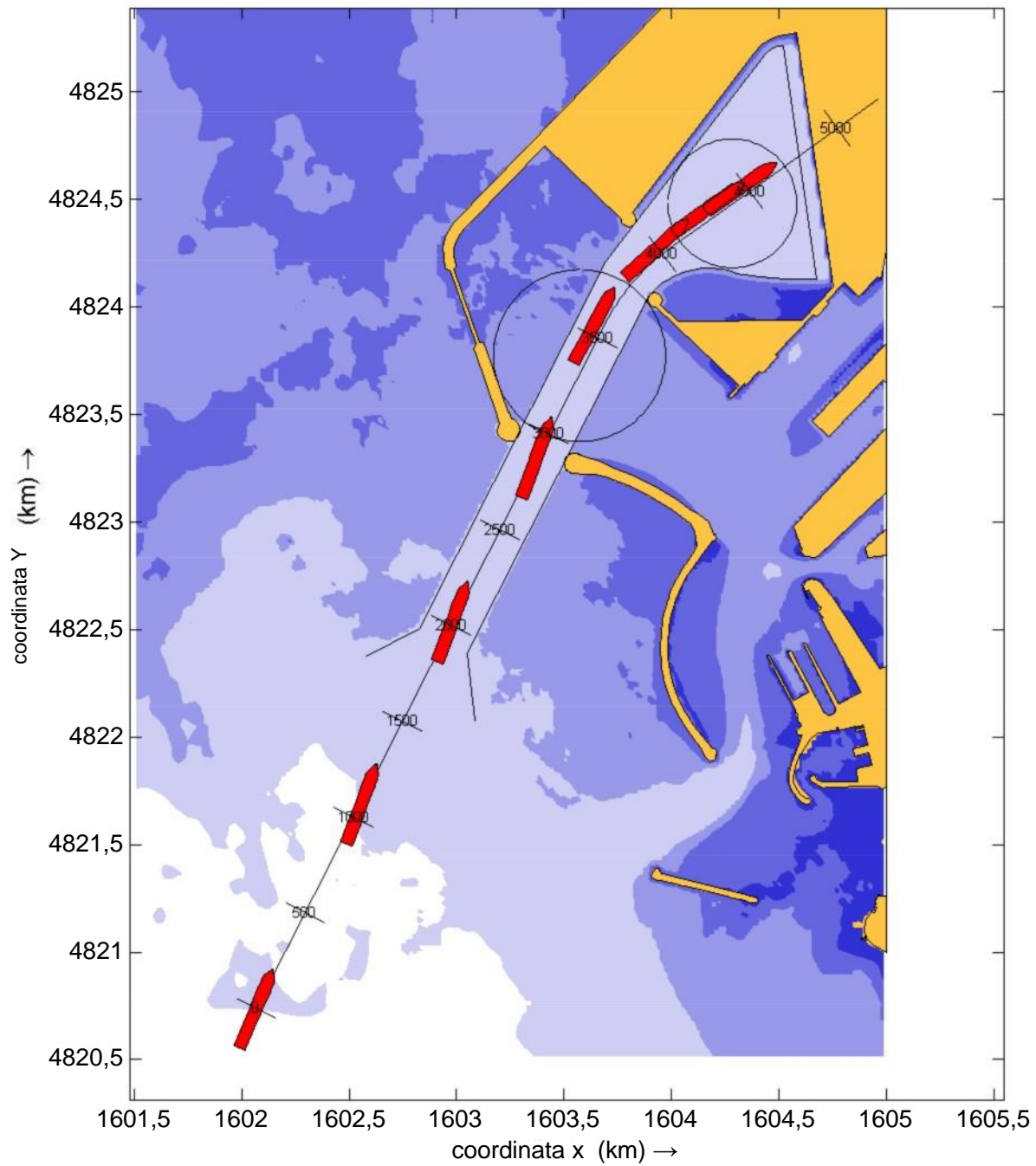
Mappe di forza di rimorchio e spinta
 Forze di rimorchio (linea continua) e forze di spinta (tratteggiata)

PB9376-Livorno | A12.3-WSC1-1xS

SHIPMA 7.4.0

Royal HaskoningDHV

Fig. E



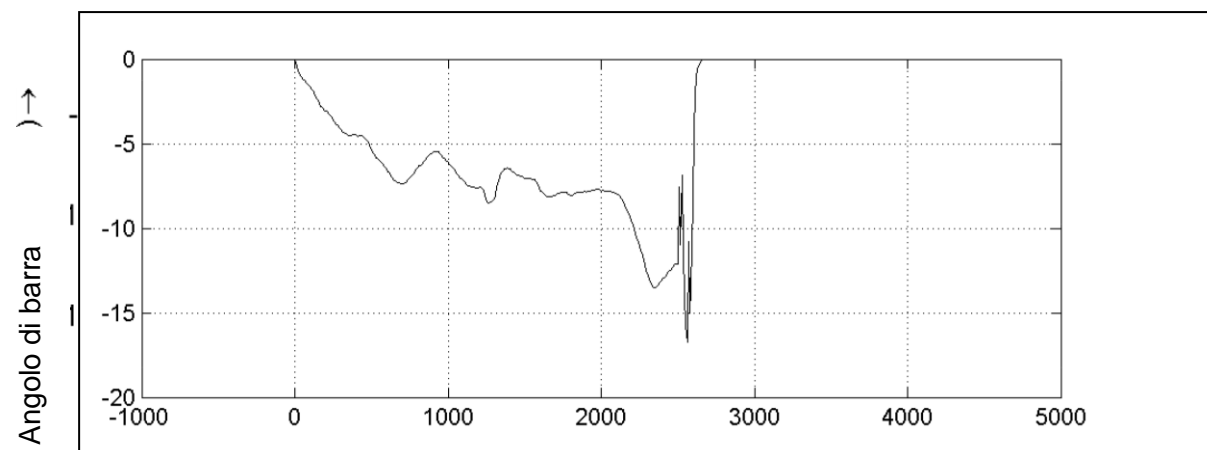
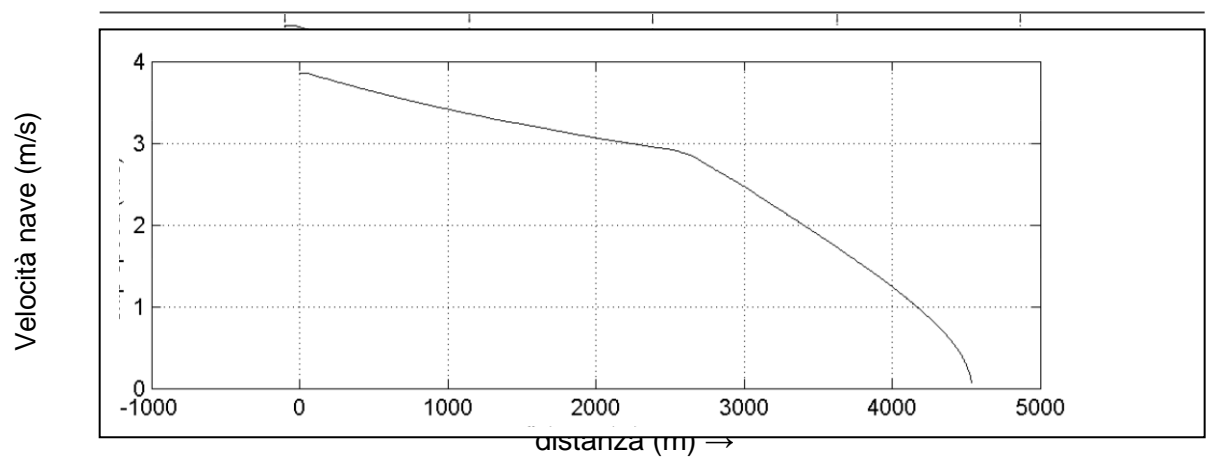
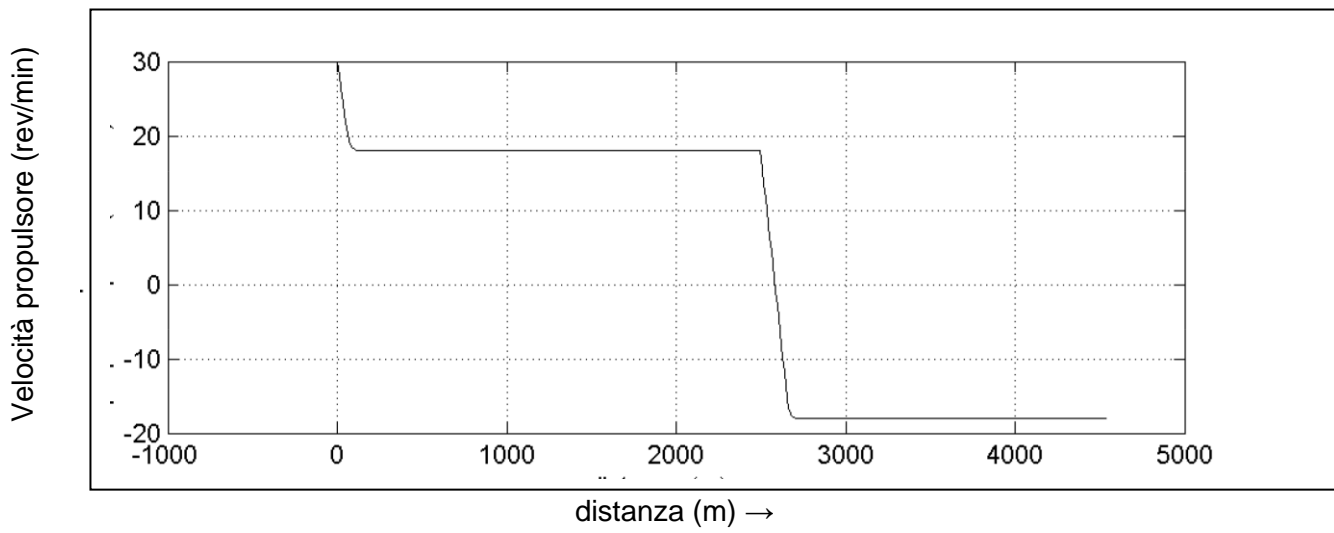
Mappa panoramica di rotta e
profondità

PB9376-Livorno A13.5-WSC24xS B

SHIPMA 7.4.0

Royal HaskoningDHV

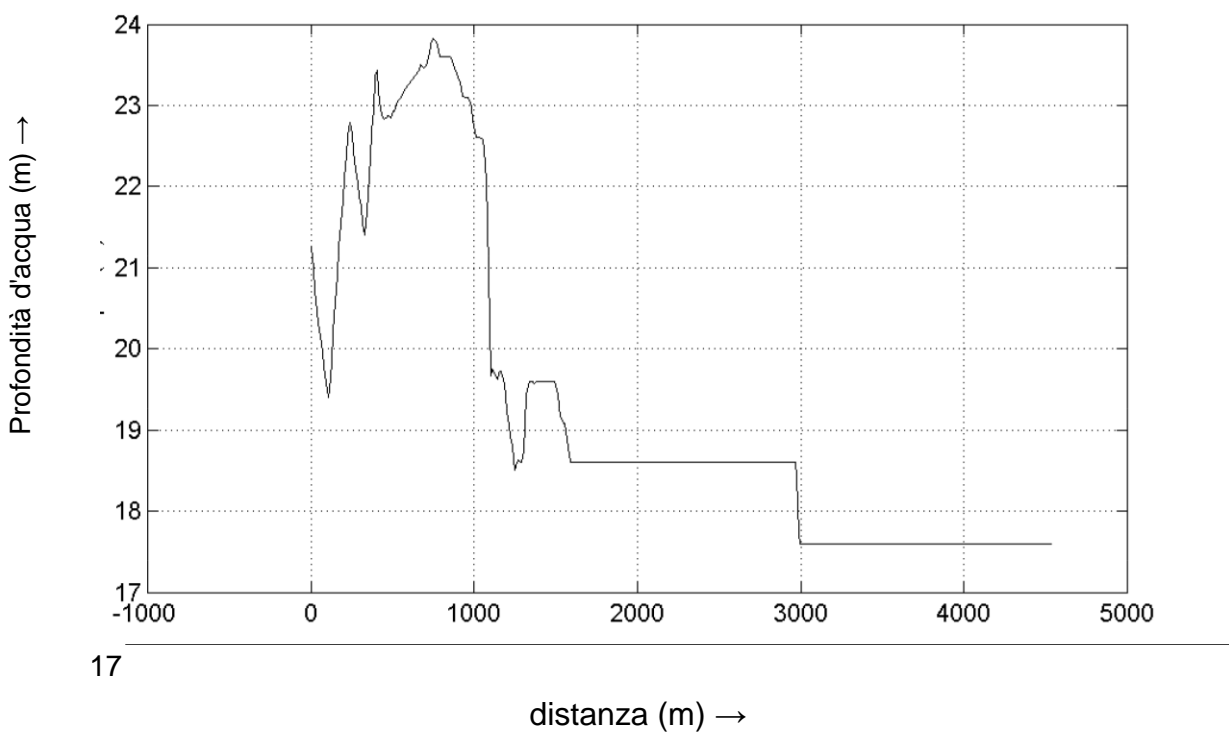
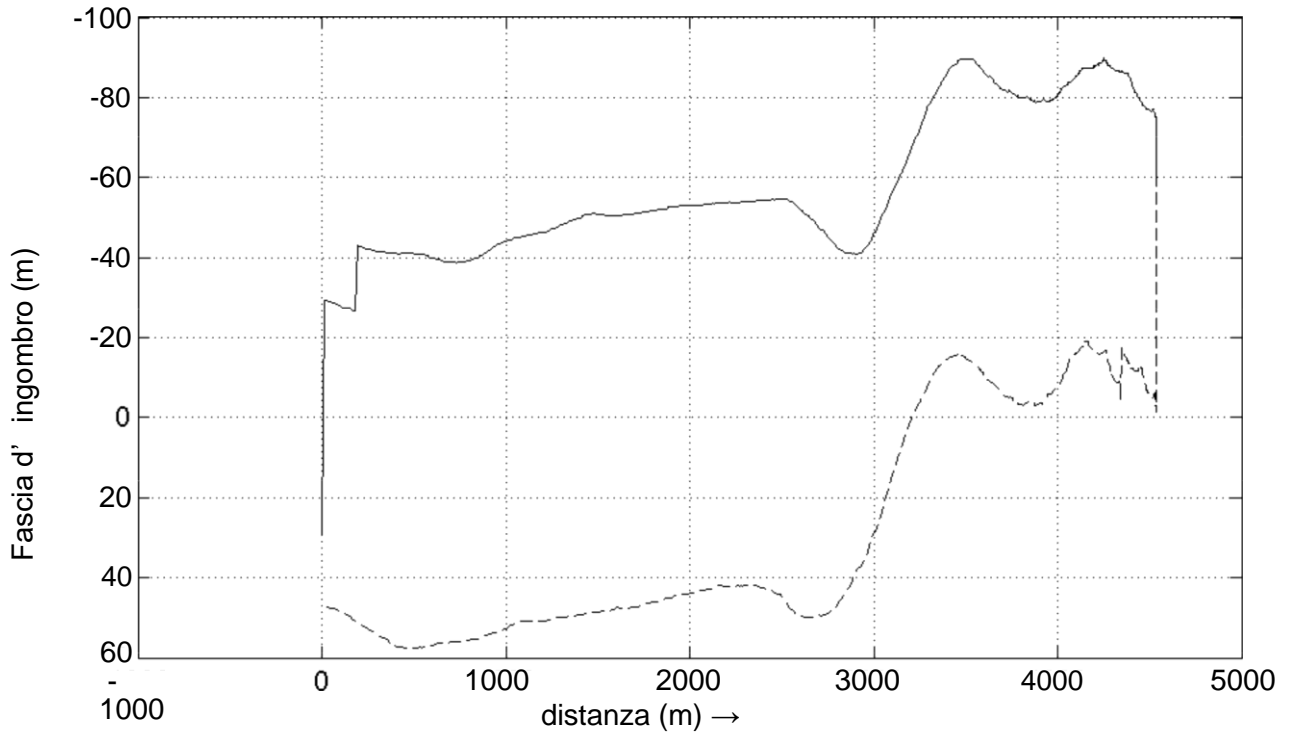
Fig. A



Velocità propulsore, velocità nave e mappa angolo di barra

PB9376-Livorno A13.5-WSC2-4xSE

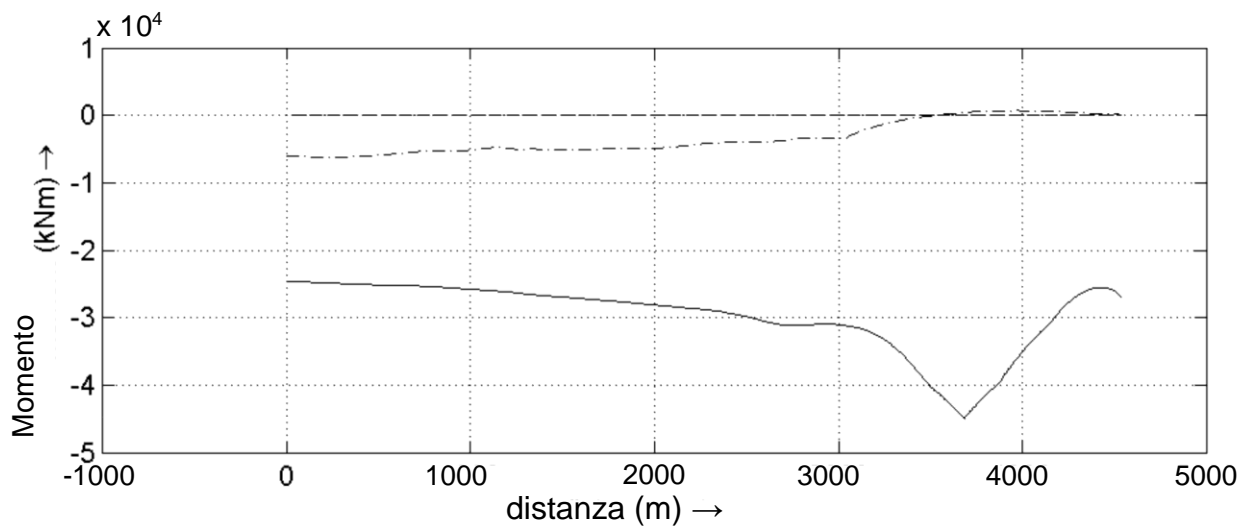
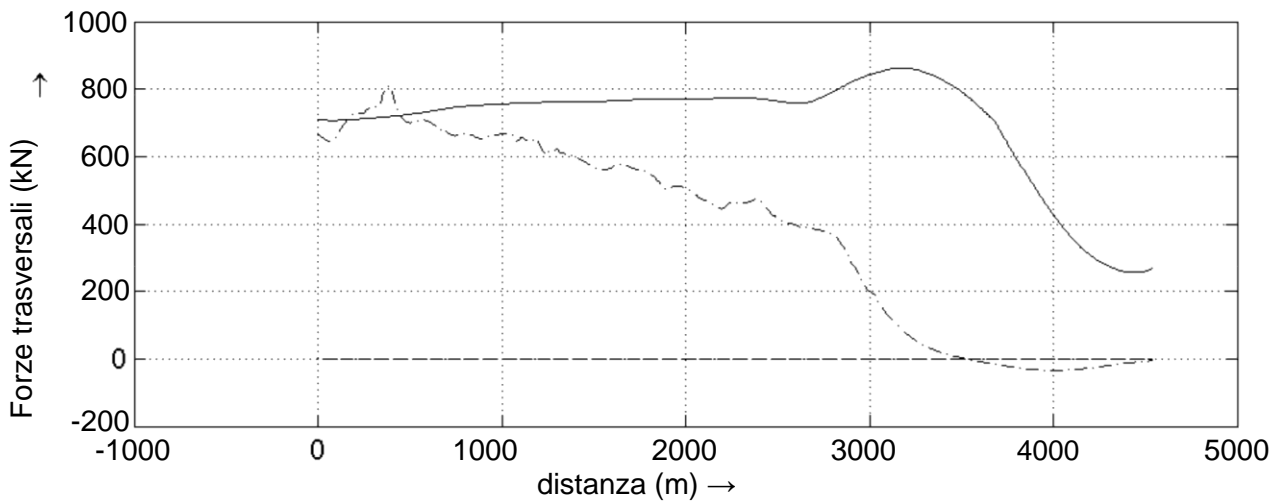
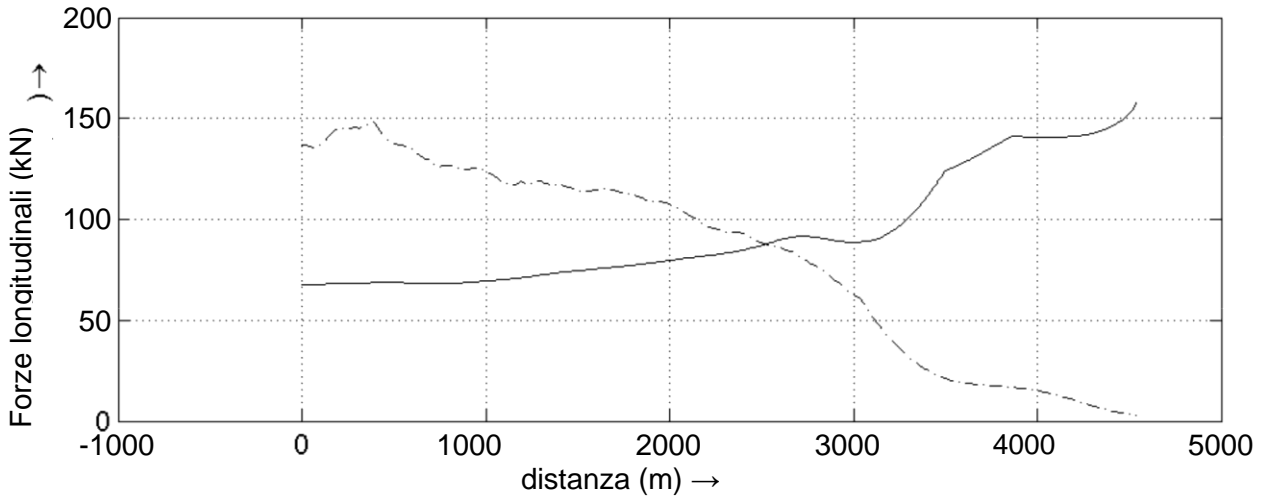
SHIPMA 7.4.0



PB9376-Livorno A13.5-WSC2-4xSE

SHIPMA 7.4.0

Fig. C



Mappe forze esterne

Vento (linea continua), onde (tratteggiata), mare lungo (tratto e punto) ed effetto

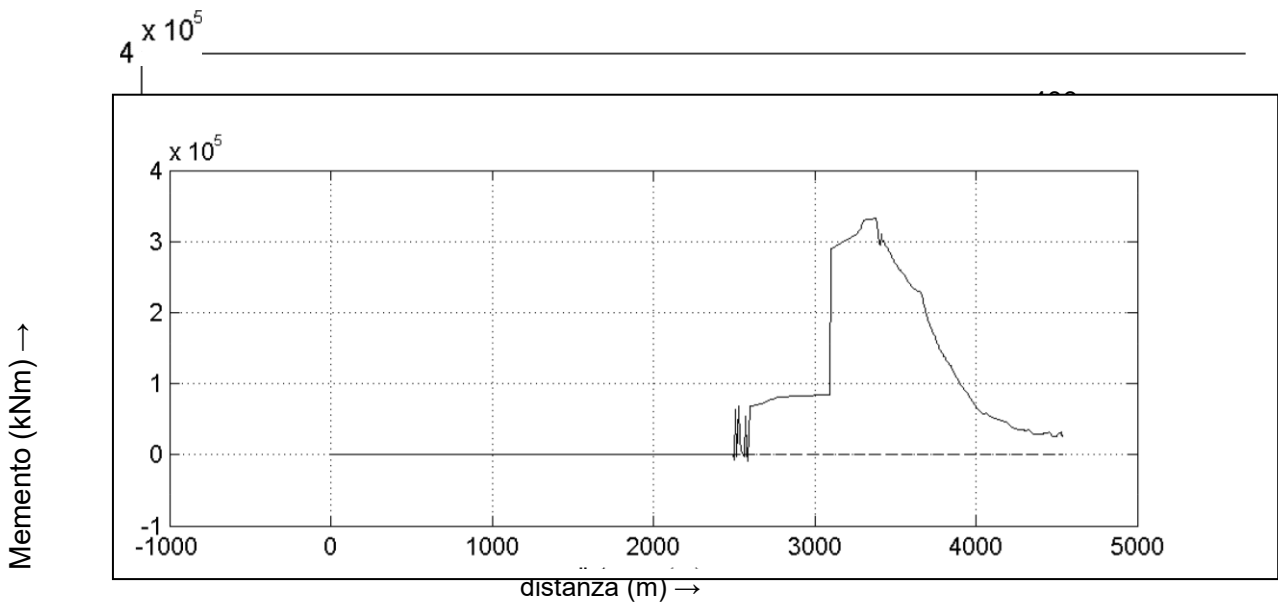
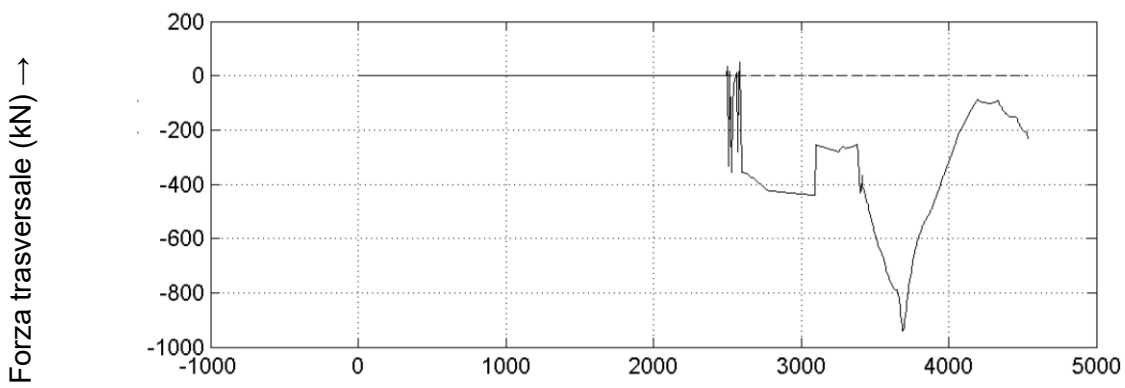
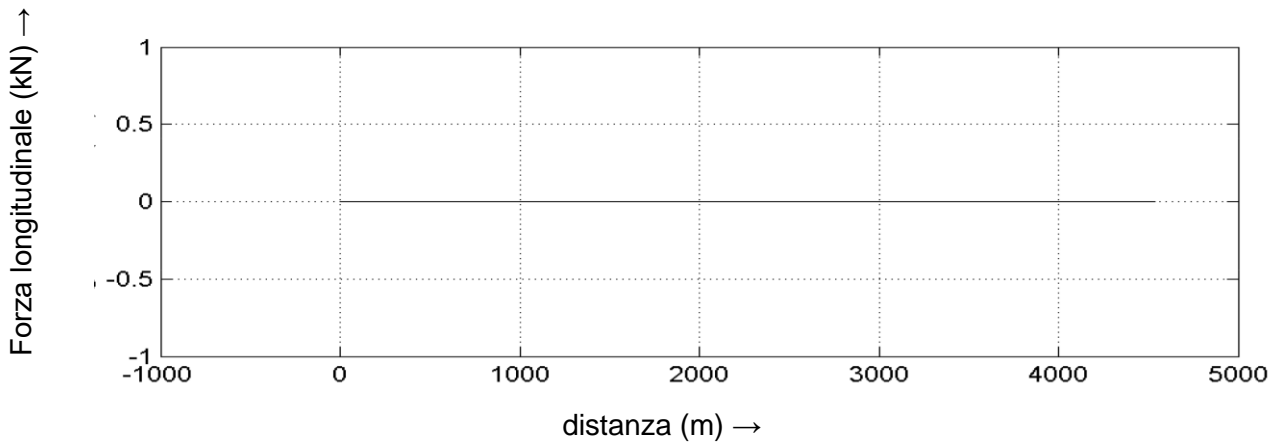
banco (punteggiato)

PB9376 Livorno 13.5 WSC24xS

SHIPMA 7.4.0

Royal HaskoningDHV

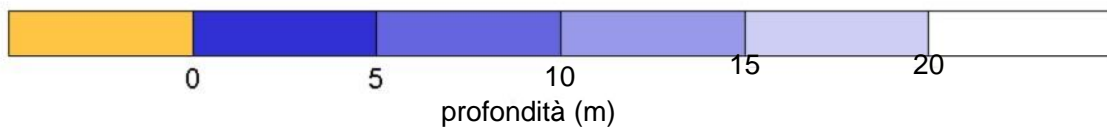
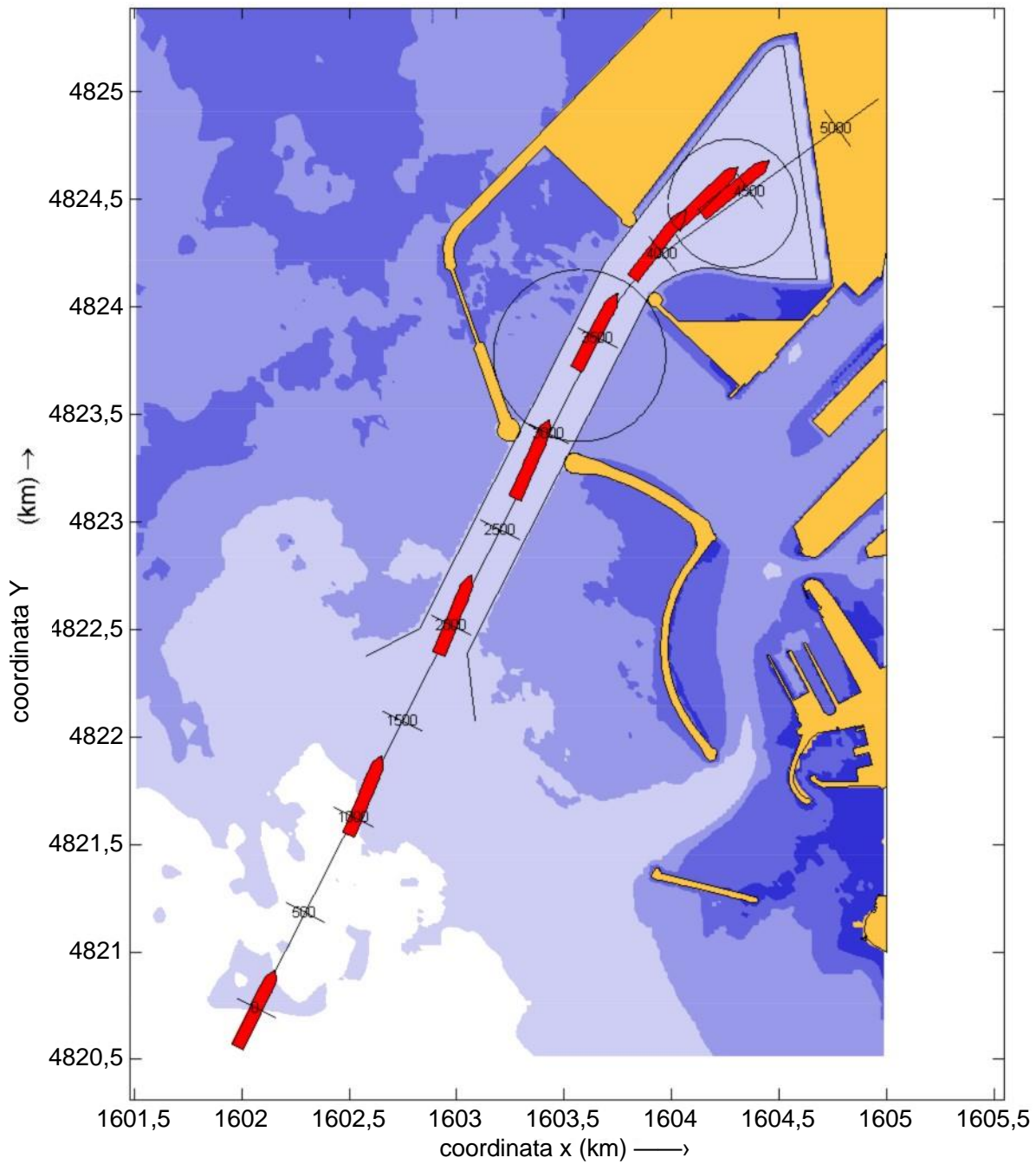
Fig. D



Mappe di forza di rimorchio e spinta
 Forze di rimorchio (linea continua) e forze di spinta
 (tratteggiata)

PB9376-Livorno A13.5-WSC2-4xSB

SHIPMA 7.4.0



Mappa panoramica di rotta e
profondità

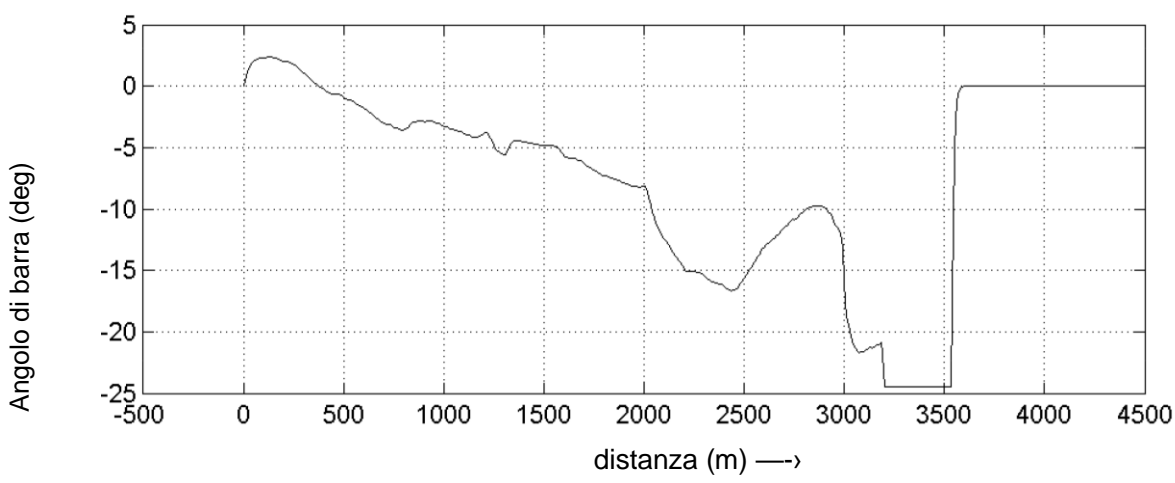
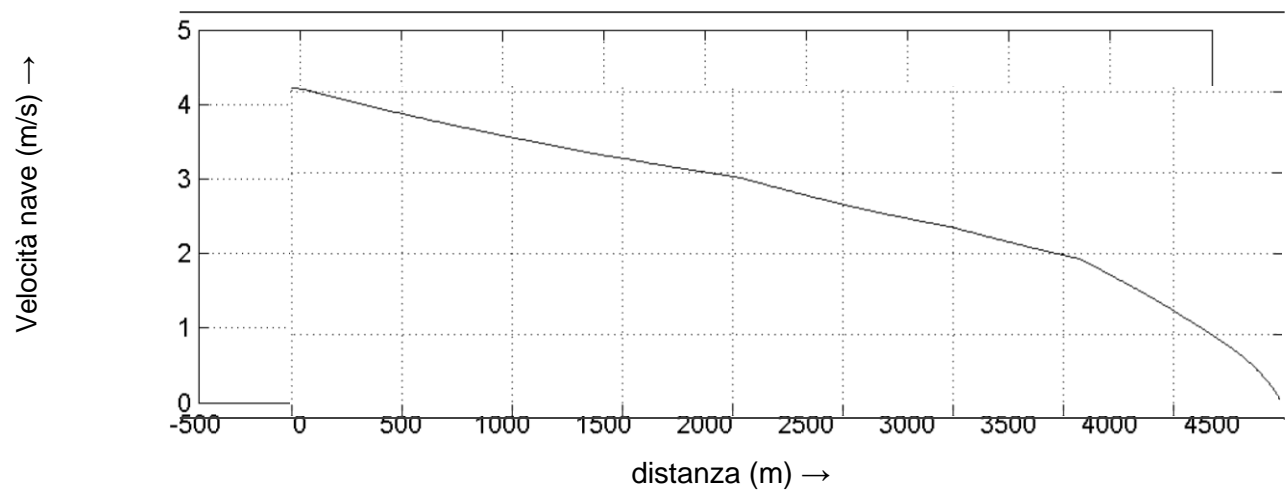
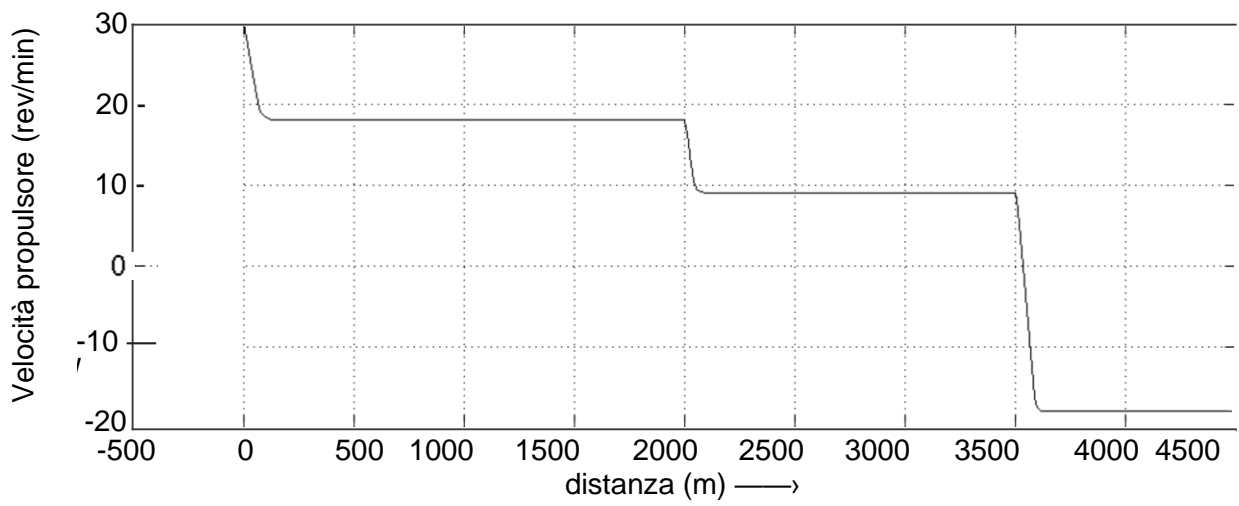
PB9376-Livorno

A14-WSC31xS

SHIPMA 7.4.0

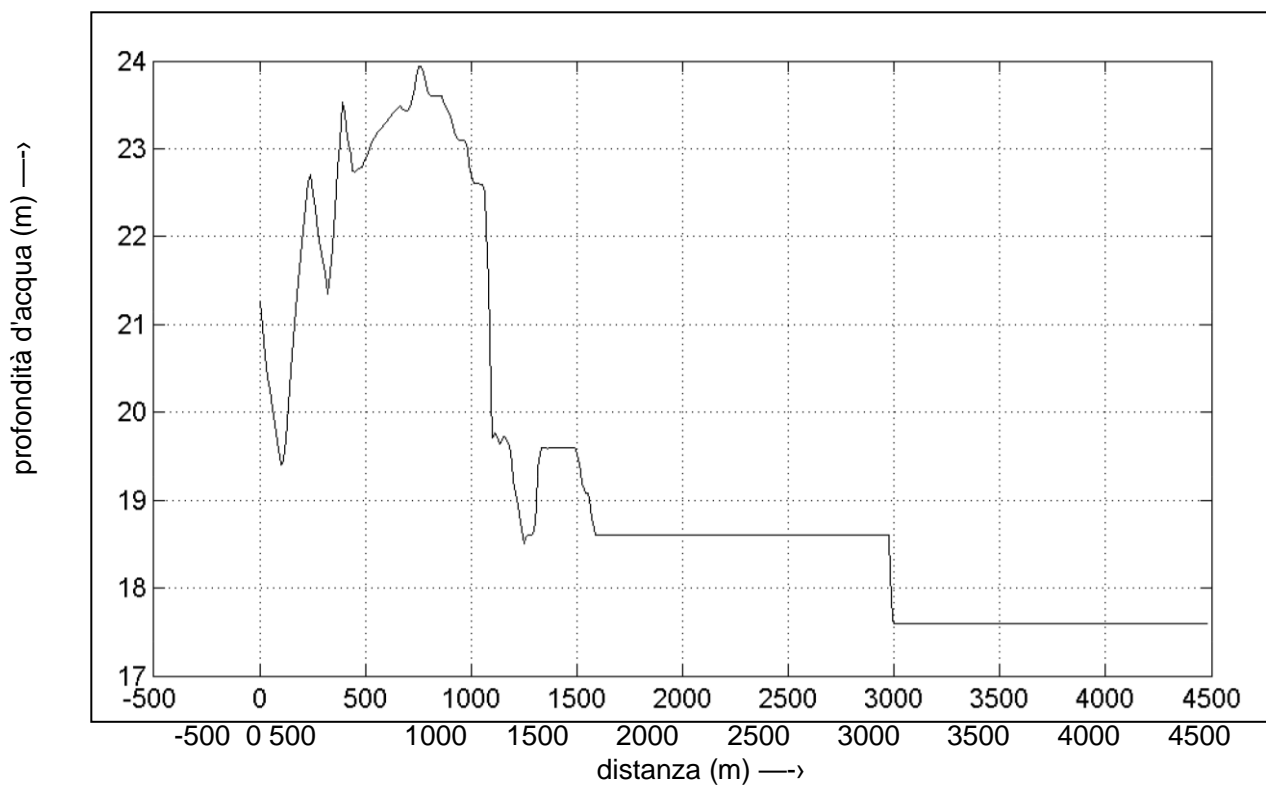
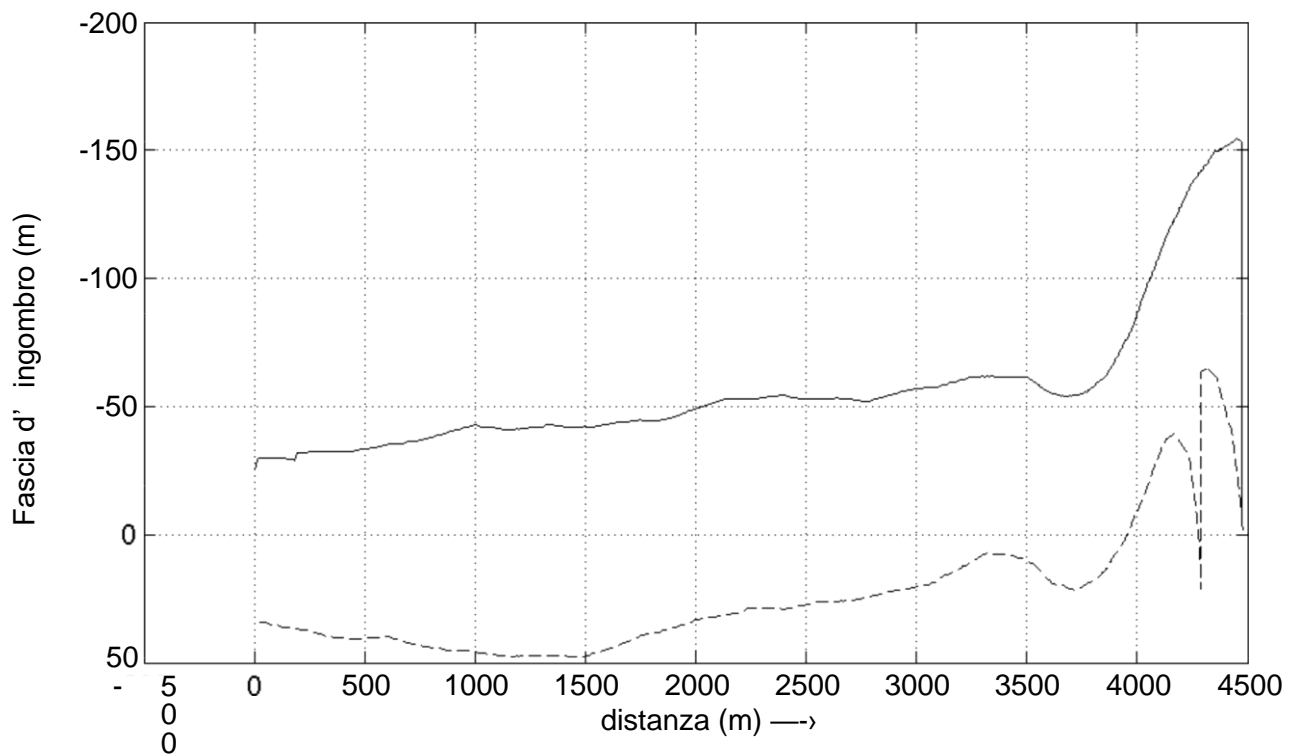
Royal HaskoningDHV

Fig. A



Velocità propulsore, velocità nave e mappa
angolo di barra

PB9376-Livorno A14-WSC3-1xS
SHIPMA 7.4.0

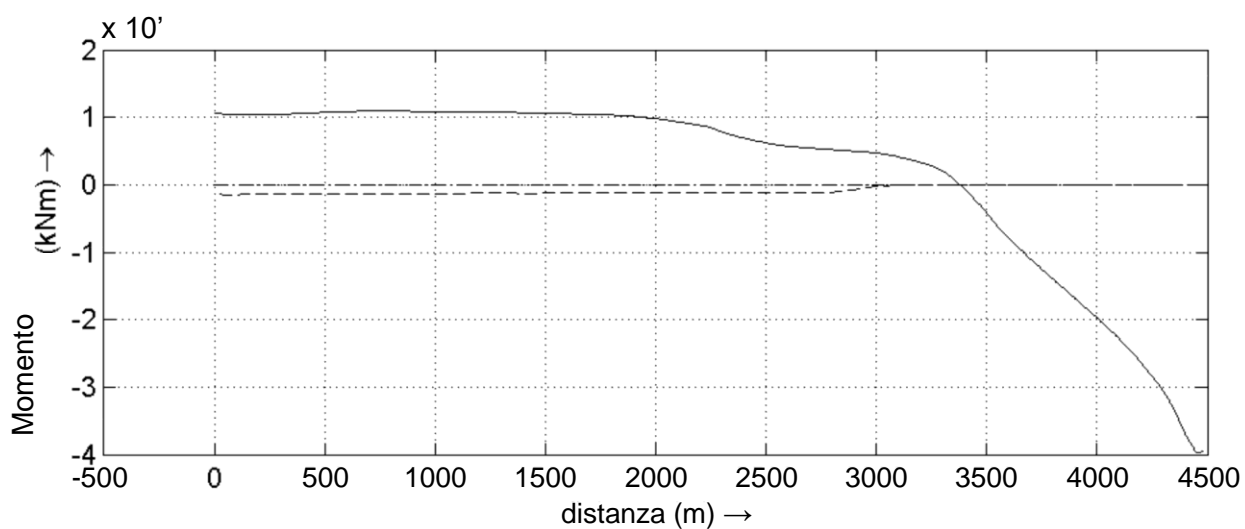
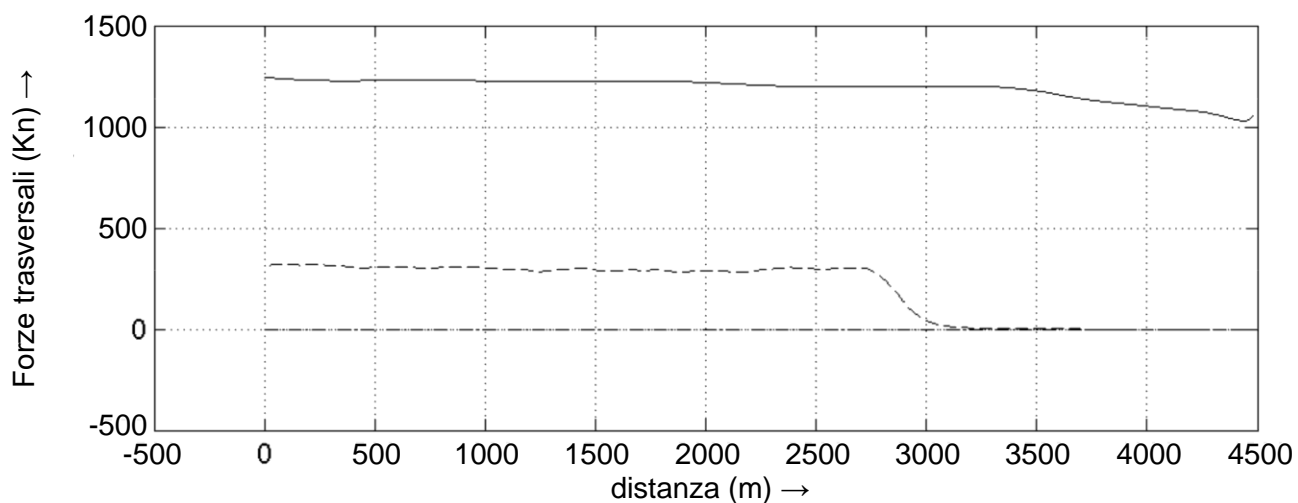
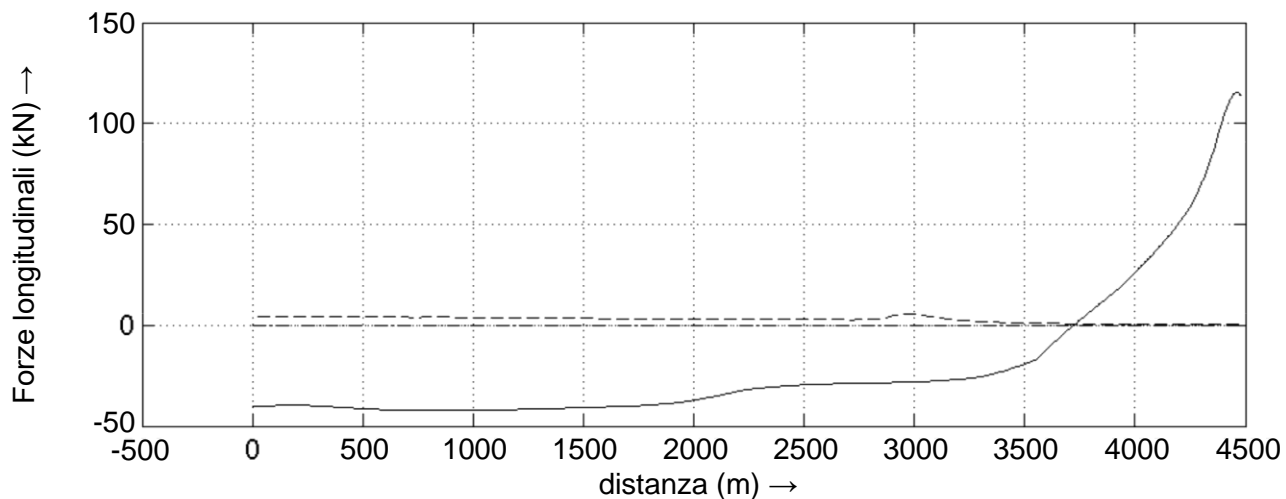


Fascia d'ingombro e profondità a dritta (tratteggiato)
e a sinistra (linea continua)

PB9376-Livorno A14-WSC3-1xS

SHIPMA 7.4.0

Fig. C



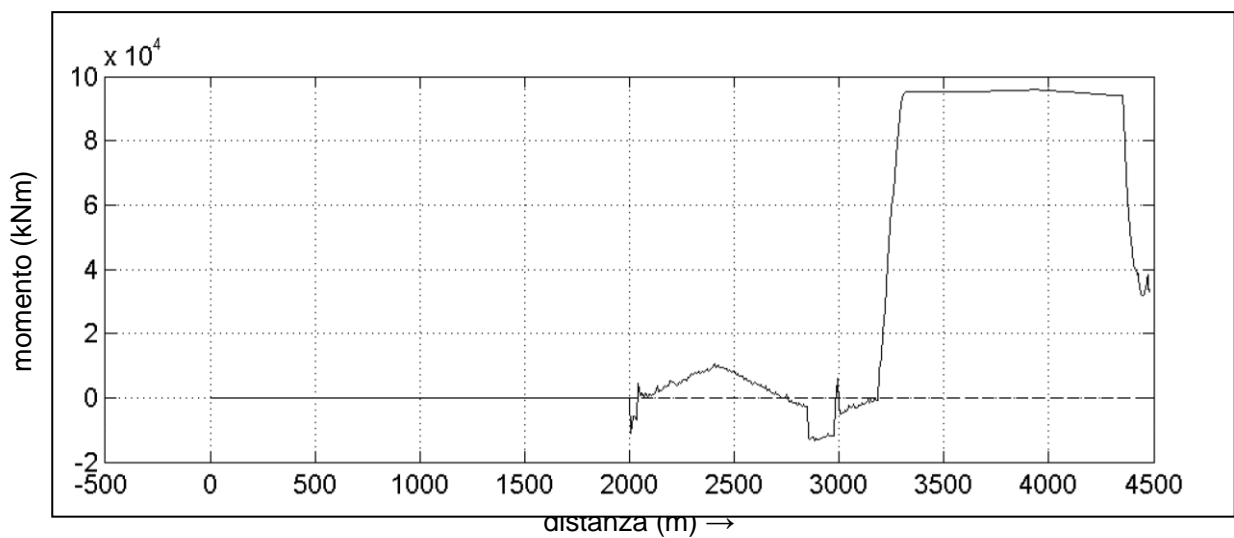
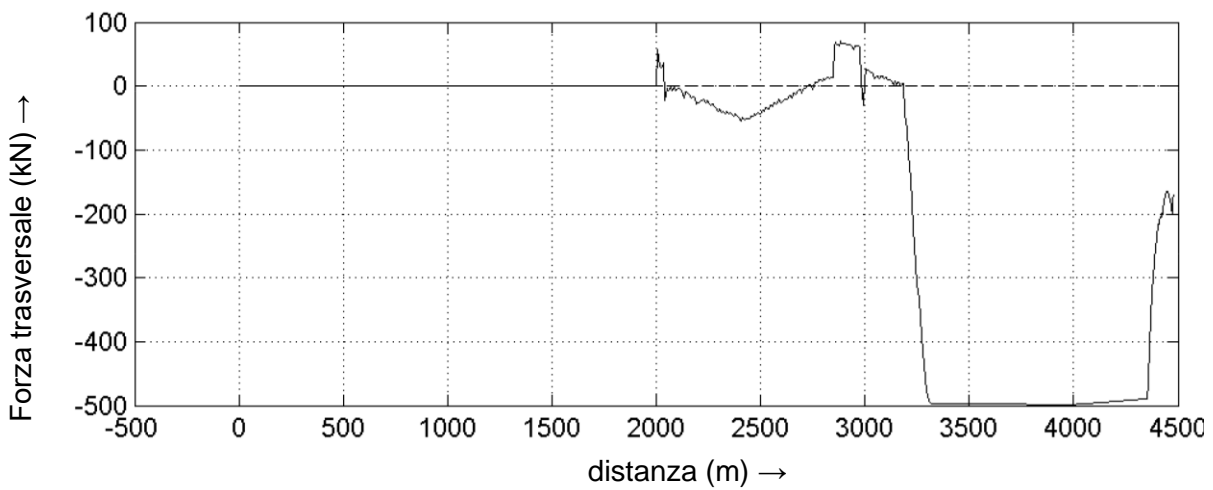
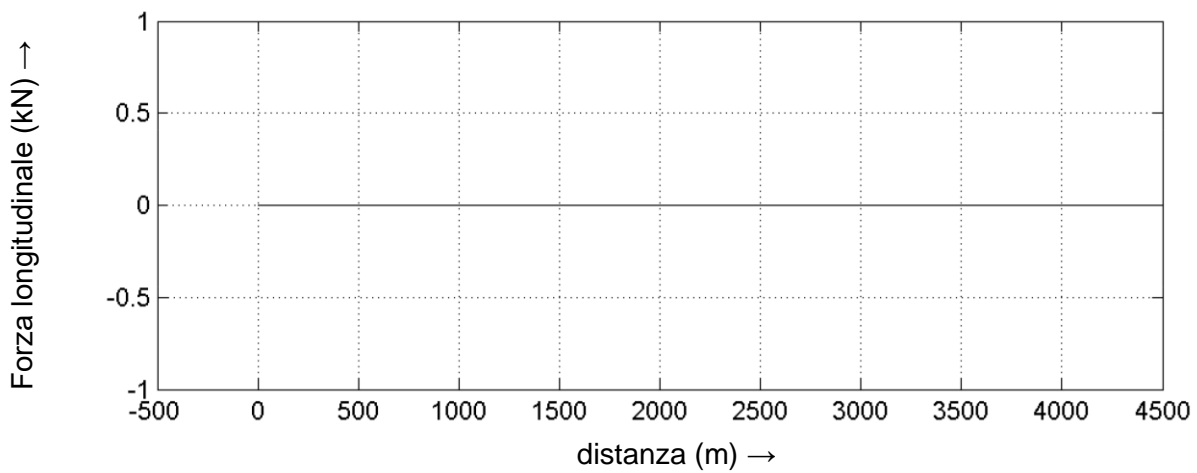
Mappe forze esterne
Vento (linea continua), onde (tratteggiata), mare lungo (tratto e punto) ed
effetto banco (punteggiato)

Royal HaskoningDHV

PB9376-Livorno A14-WSC31xS

SHIPMA 7.4.0

Fig. D



Mappe di forza di rimorchio e spinta
 Forze di rimorchio (linea continua) e forze
 di spinta (tratteggiata)

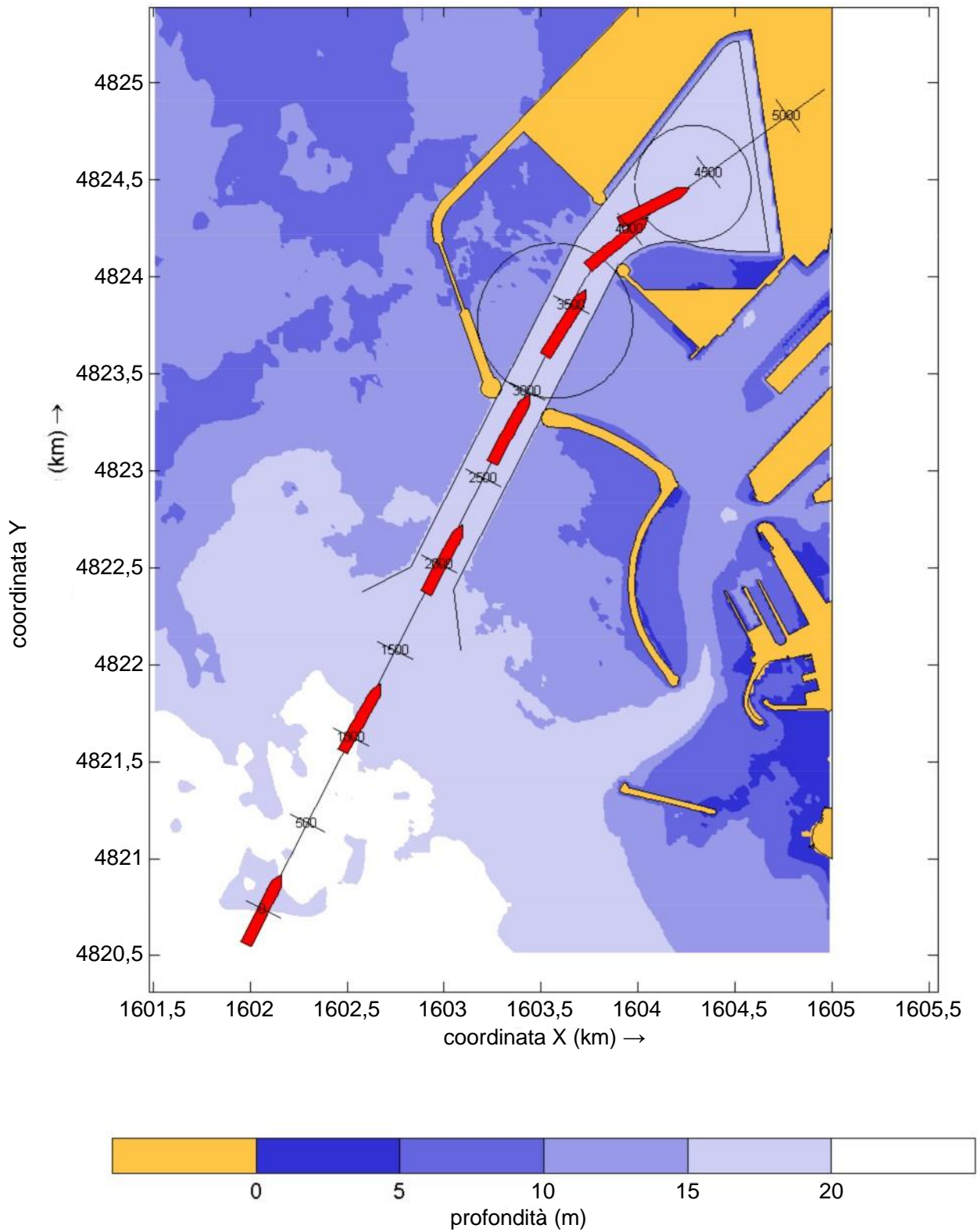
PB9376-Livorno

A14-WSC3-1xS

SHIPMA 7.4.0

Royal HaskoningDHV

Fig. E



Mappa panoramica di rotta e profondità

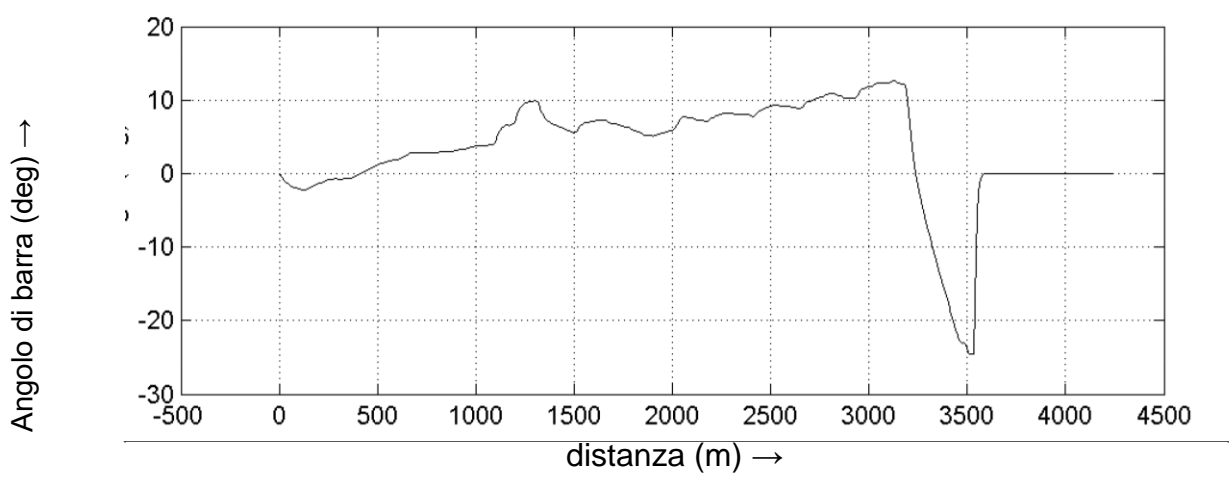
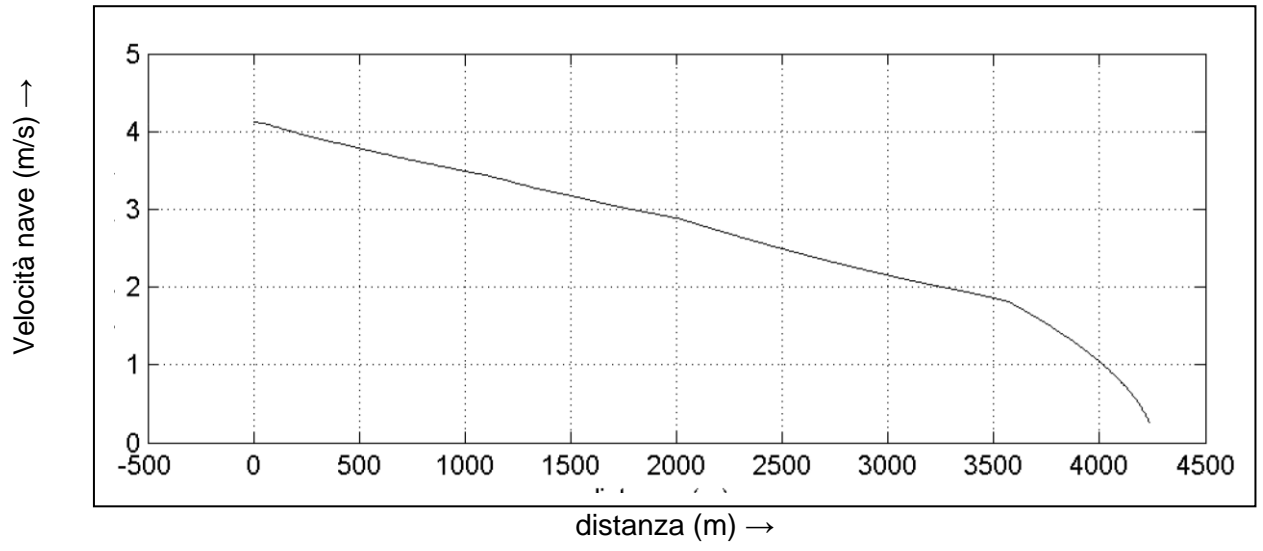
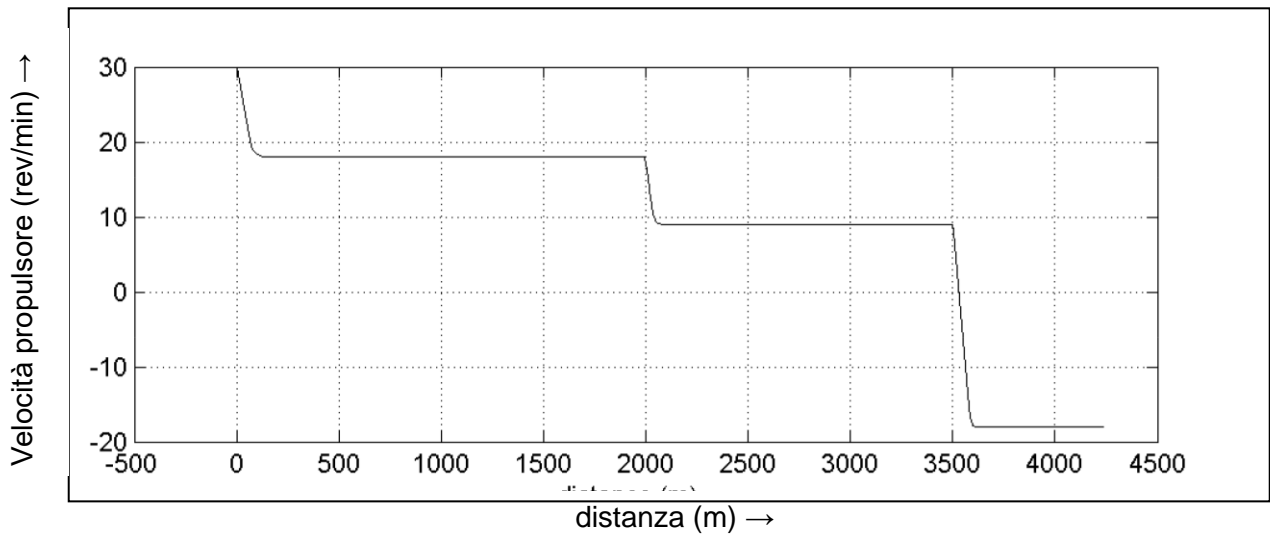
PB9376-Livorno

A15.1-W4-1xS

SHIPMA 7.4.0

Royal HaskoningDHV

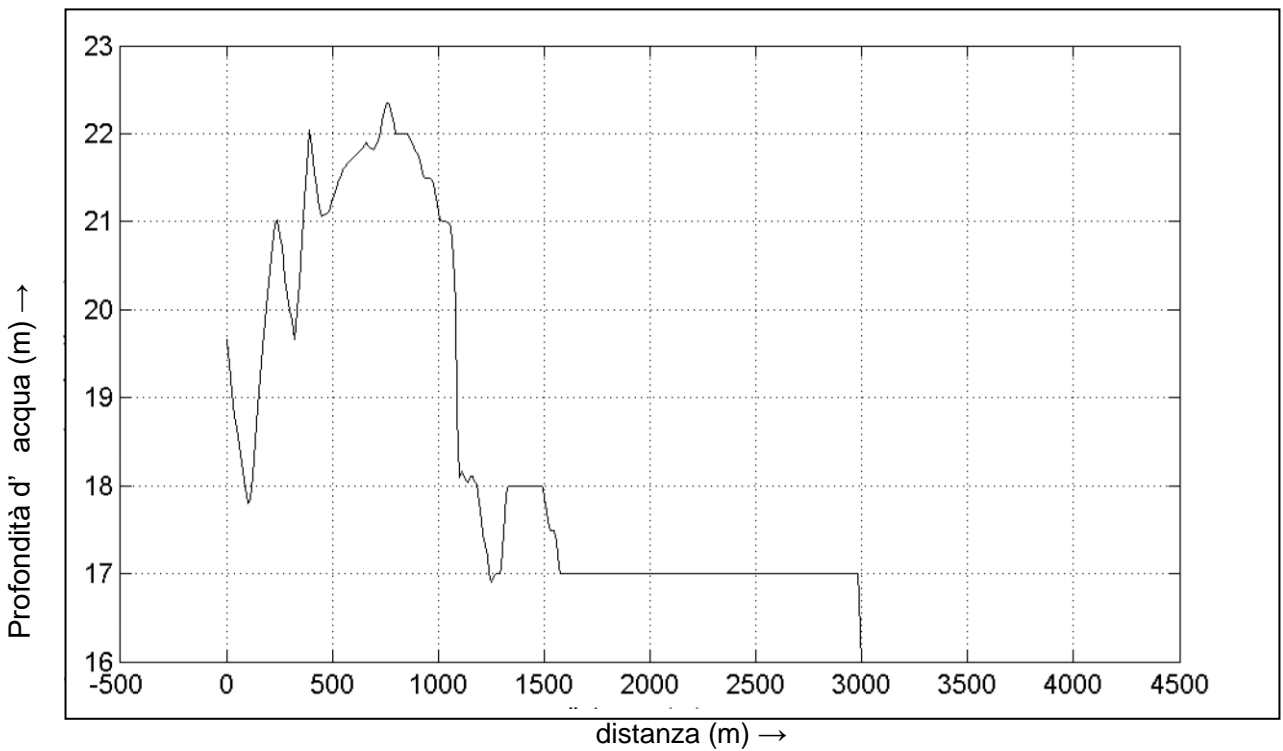
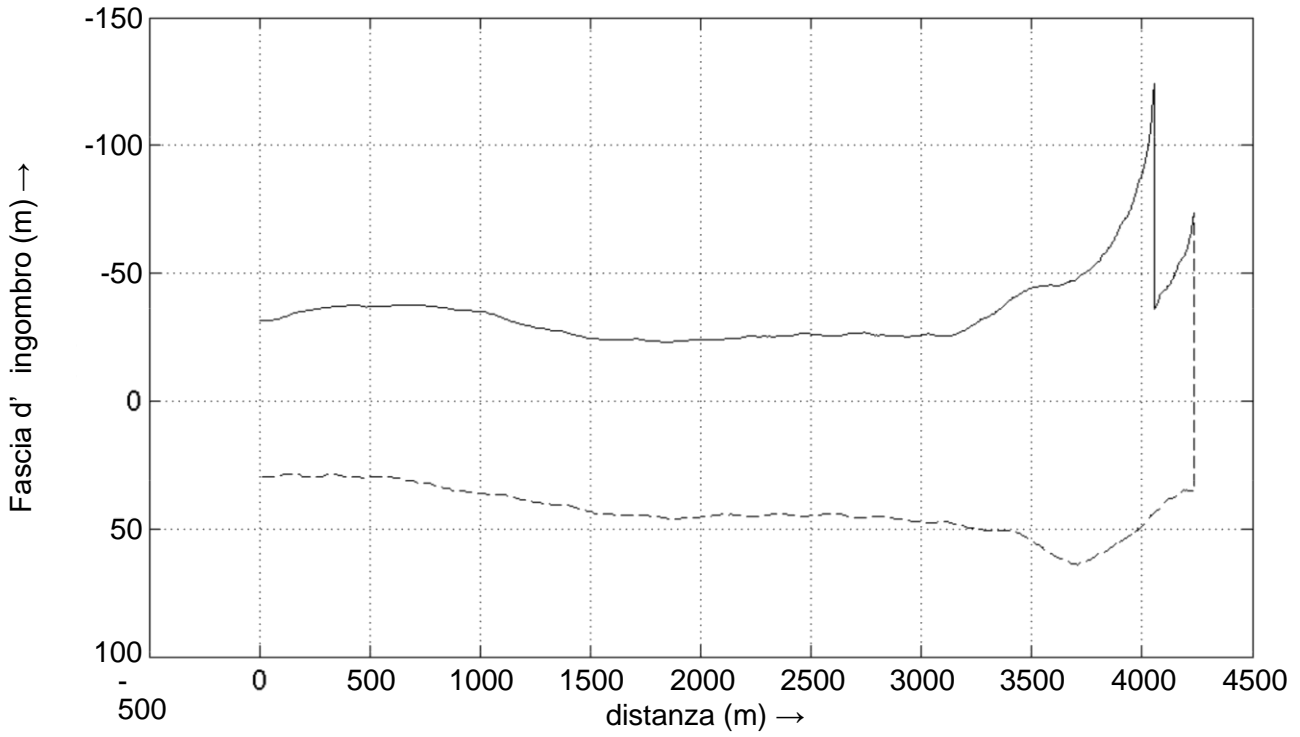
Fig. A



Velocità propulsore, velocità nave e mappa
angolo di barra

PB9376-Livorno A15.1-W4-1xS

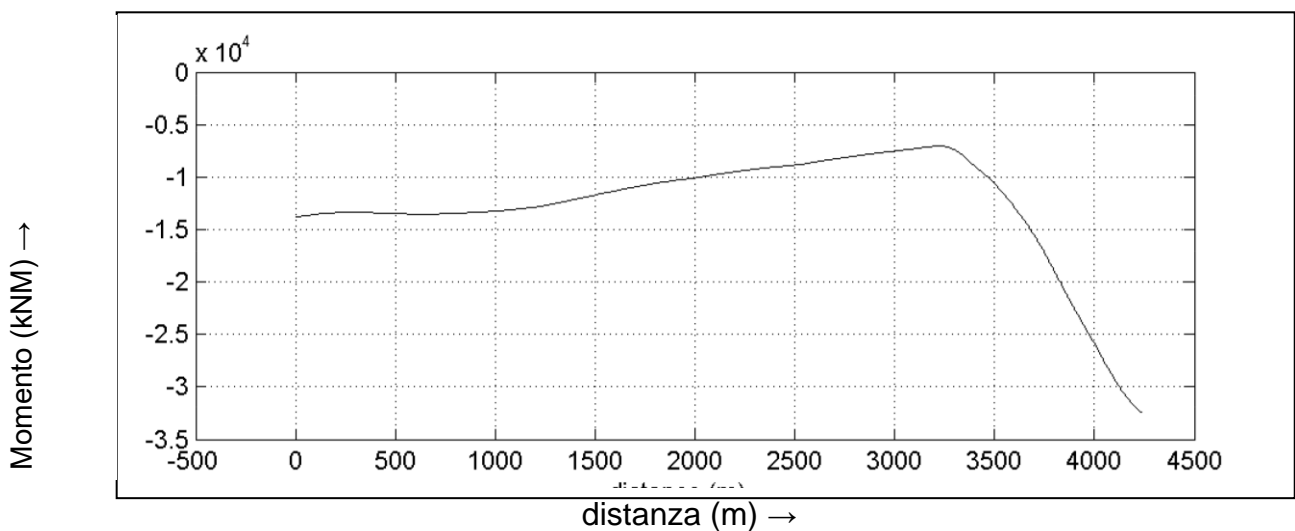
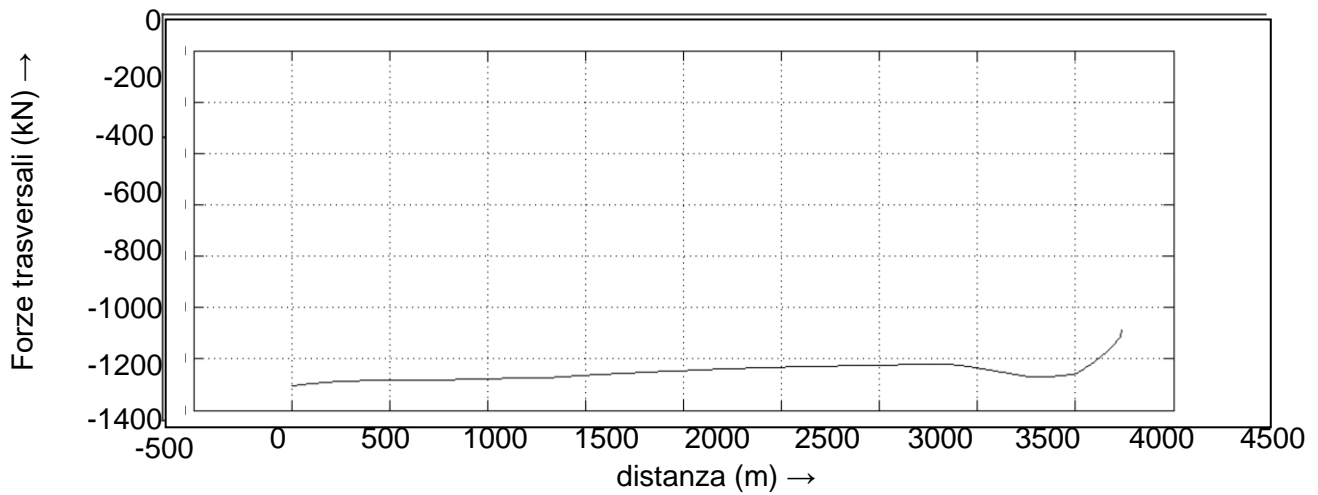
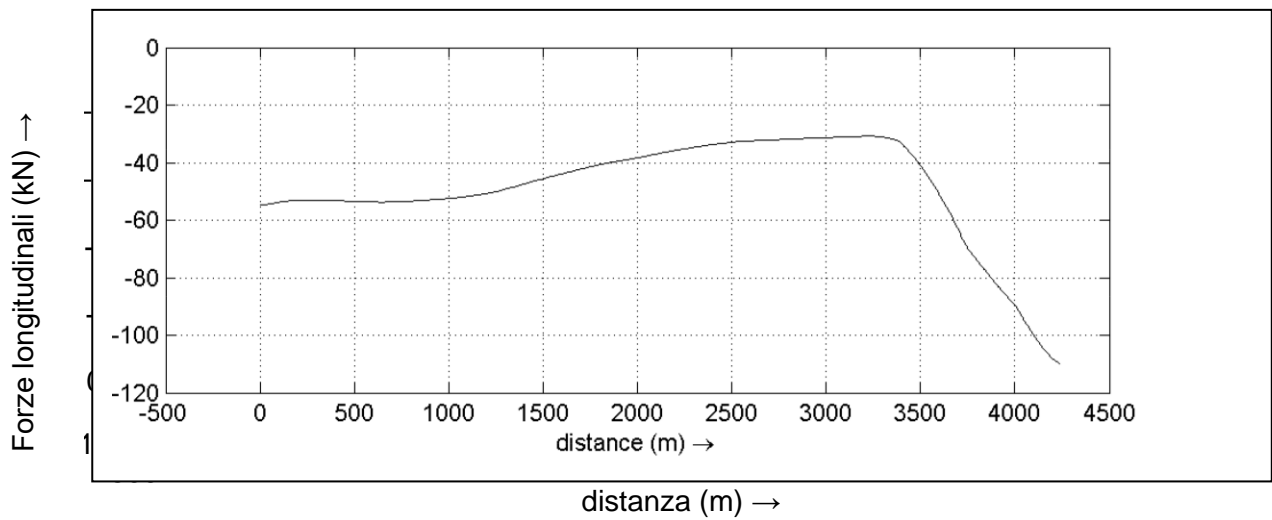
SHIPMA 7.4.0



Fascia d'ingombro e profondità a dritta (tratteggiato) e a sinistra (linea continua)

PB9376-Livorno A15.1-W4-1xS

SHIPMA 7.4.0



Mappe forze esterne
 Vento (linea continua), onde (tratteggiata), mare lungo (tratto e punto) ed effetto banco (punteggiato)

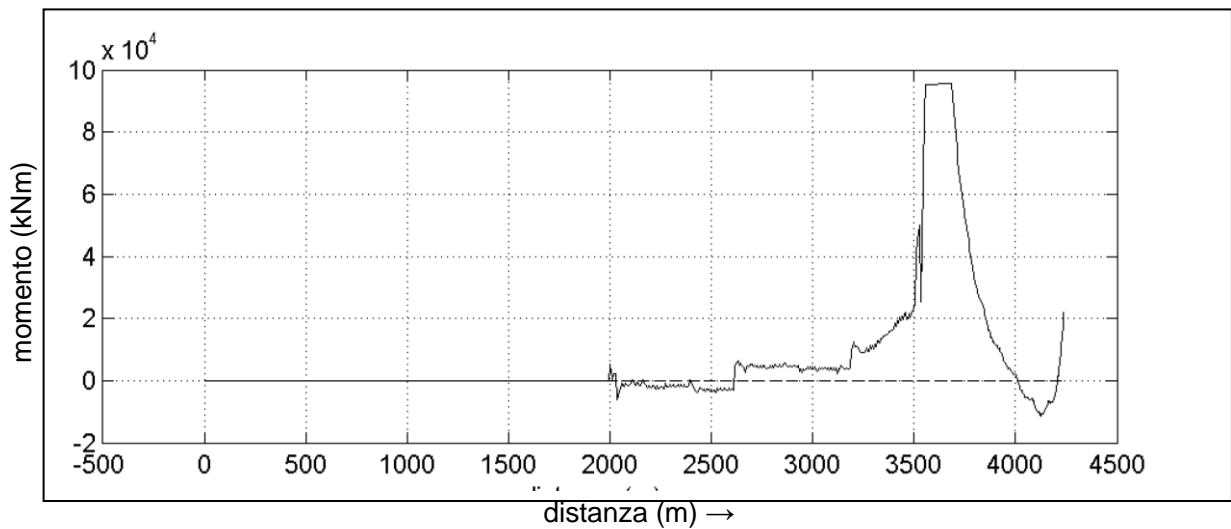
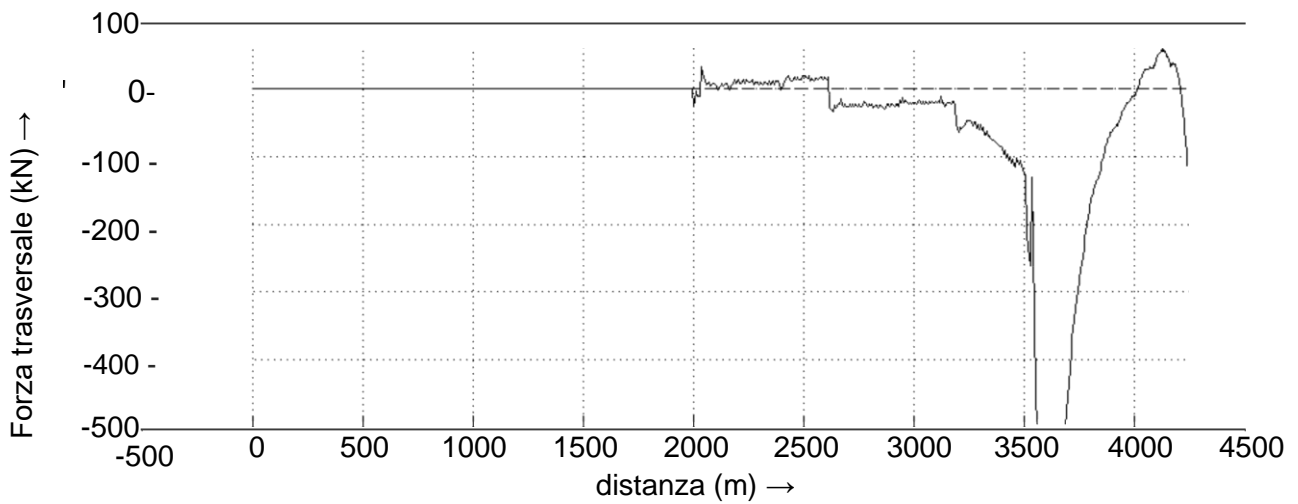
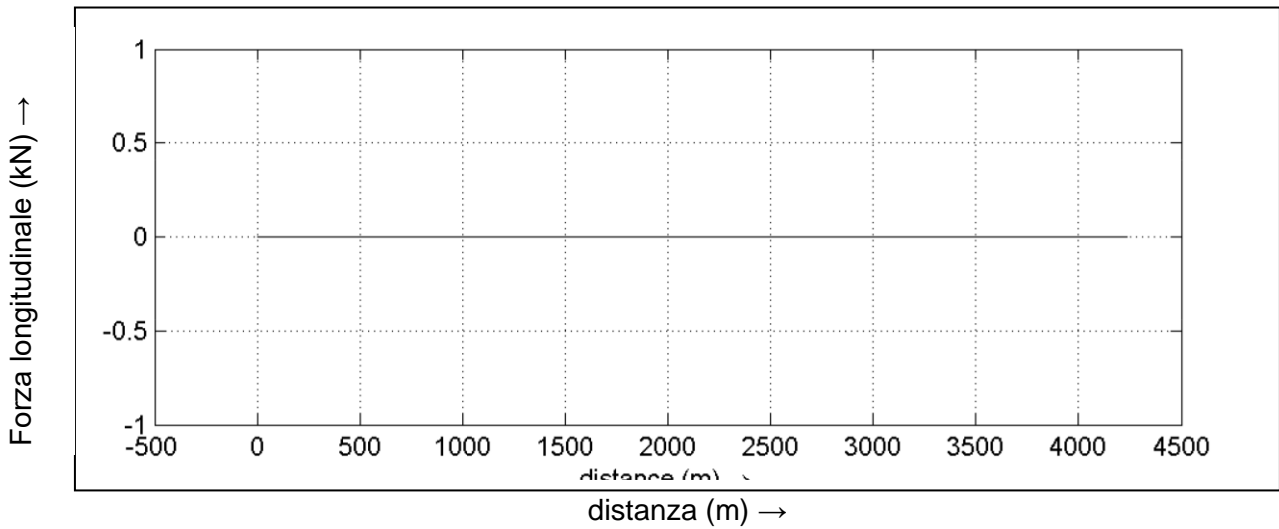
PB9376-Livorno

A15.1-W4-1xS

SHIPMA 7.4.0

Royal HaskoningDHV

Fig. D



Mappe di forza di rimorchio e spinta
 Forze di rimorchio (linea continua) e forze
 di spinta (tratteggiata)

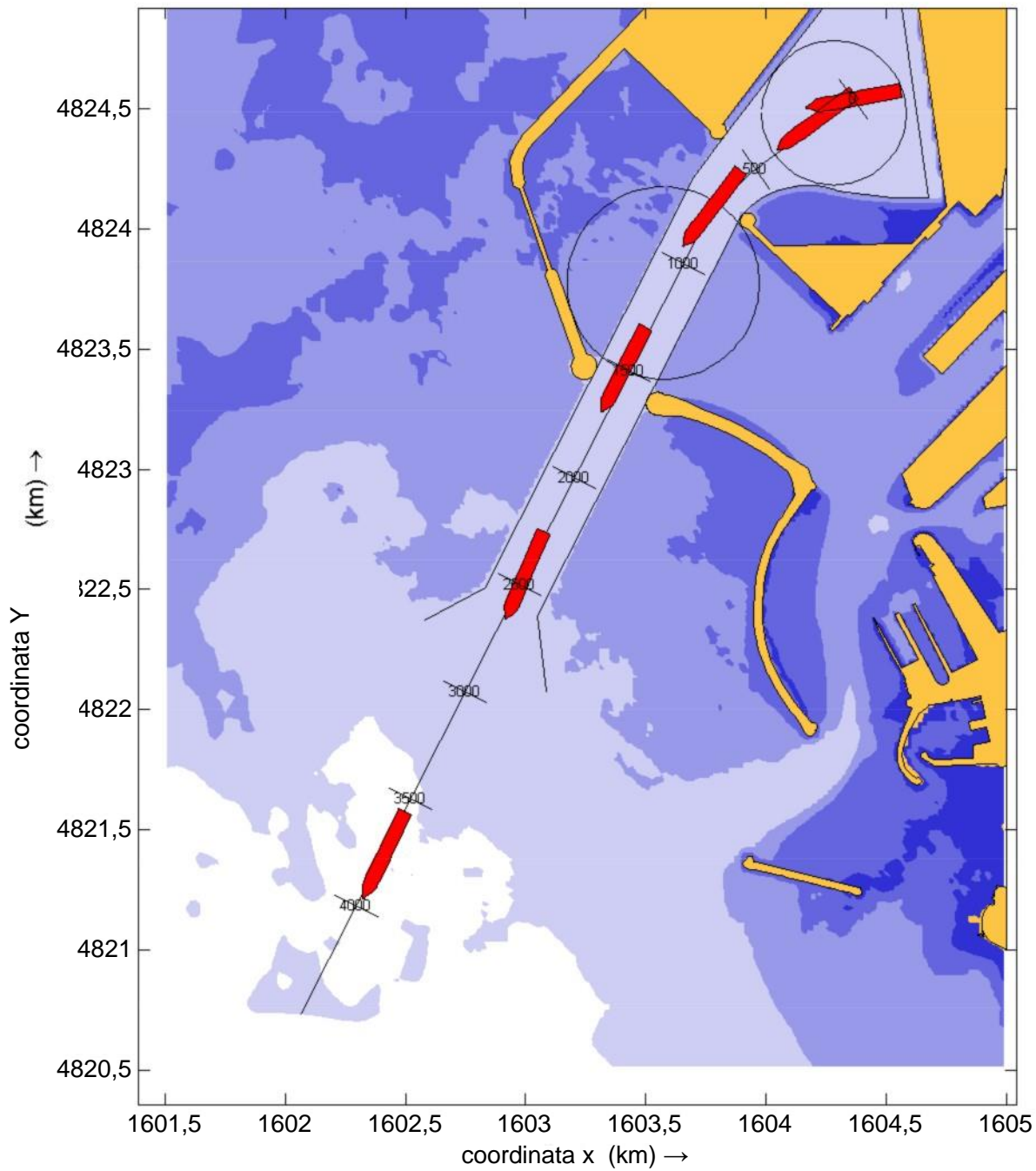
PB9376-Livorno

A15.1-W4-1xS

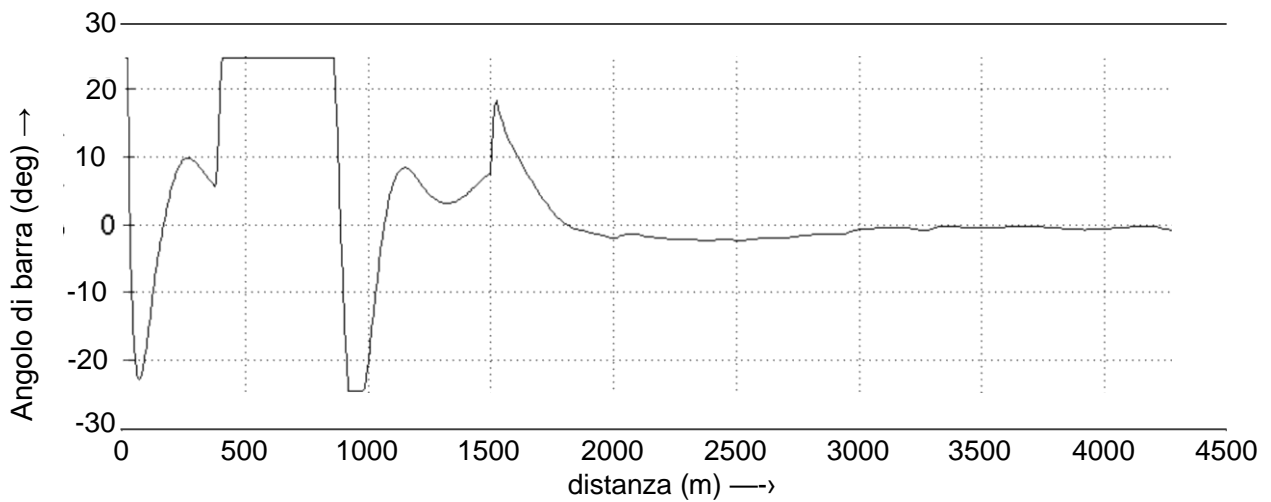
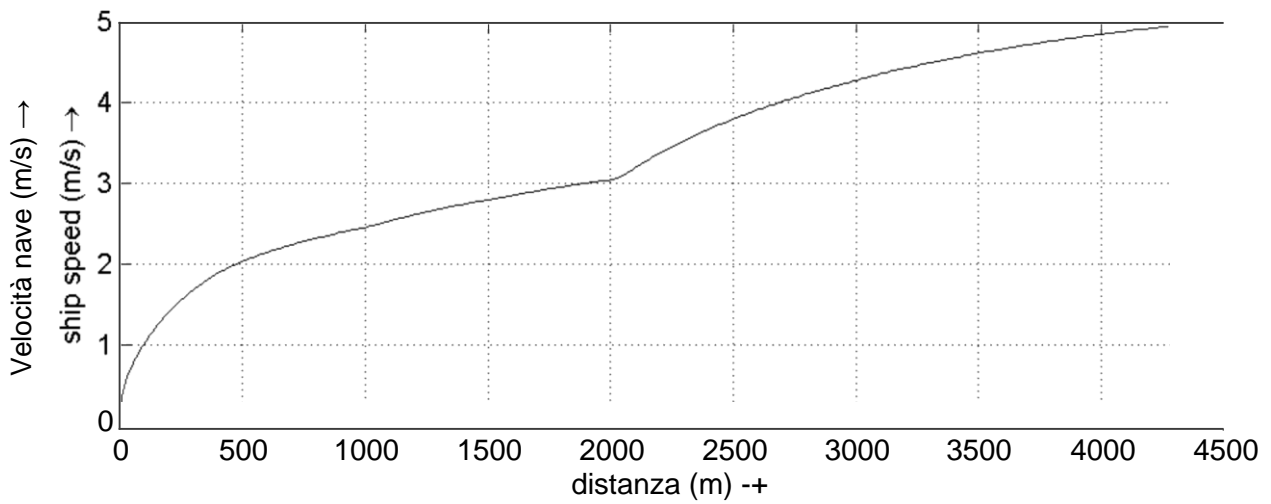
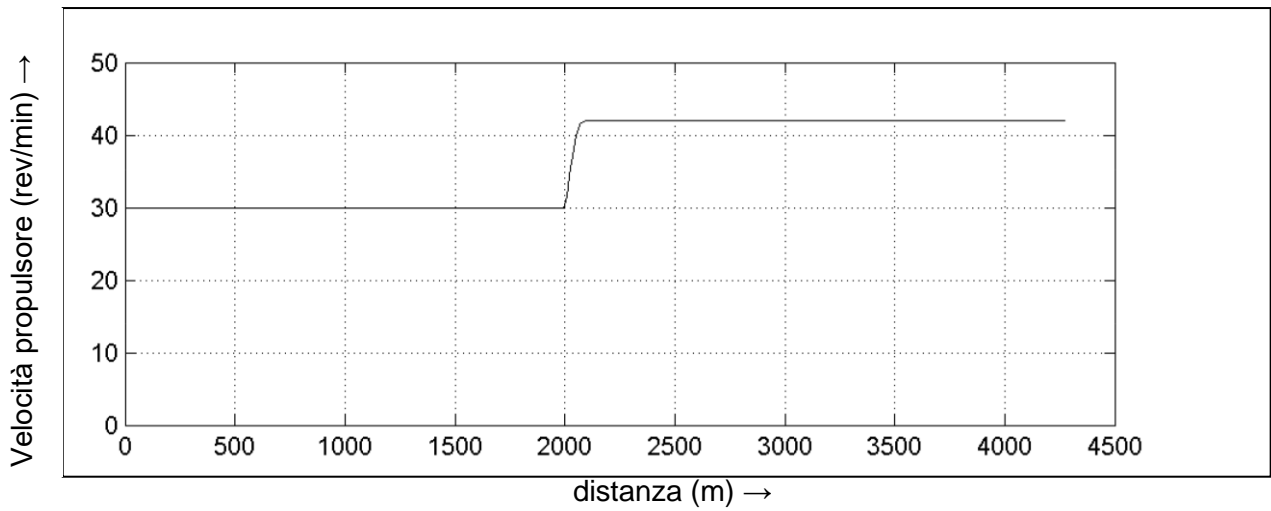
SHIPMA 7.4.0

Royal HaskoningDHV

Fig. E



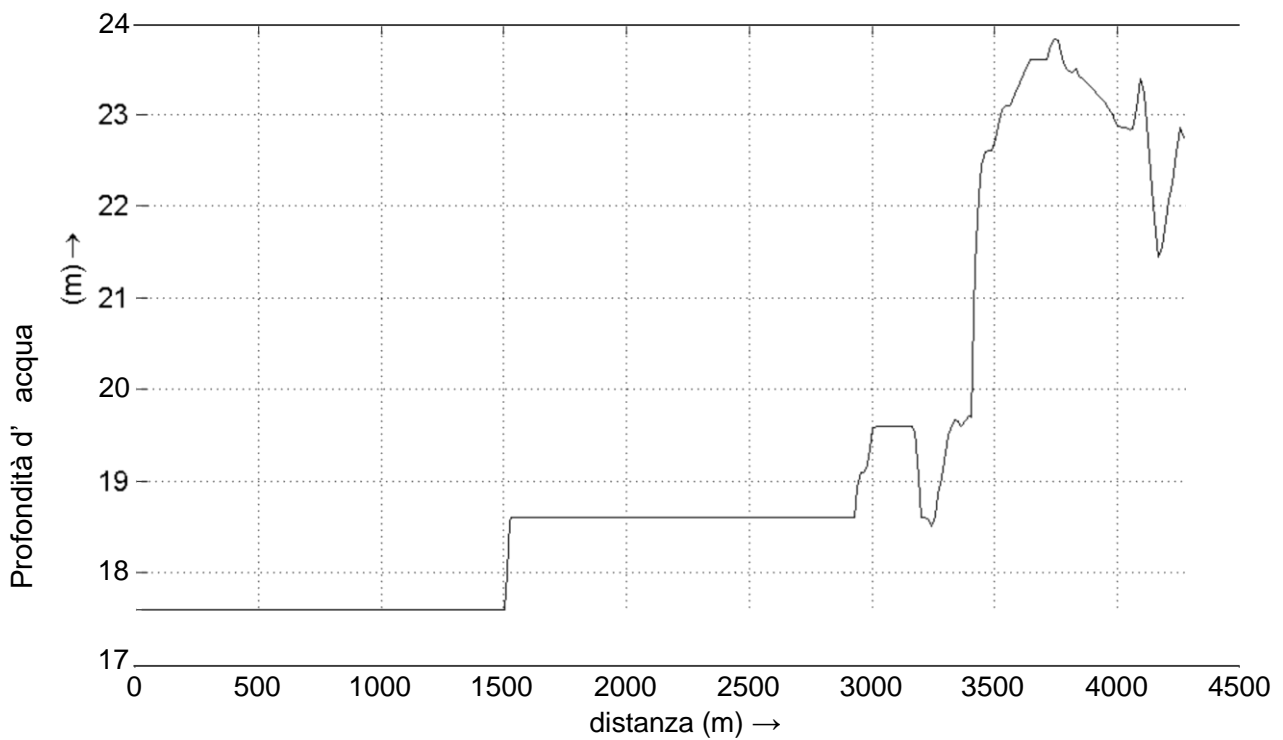
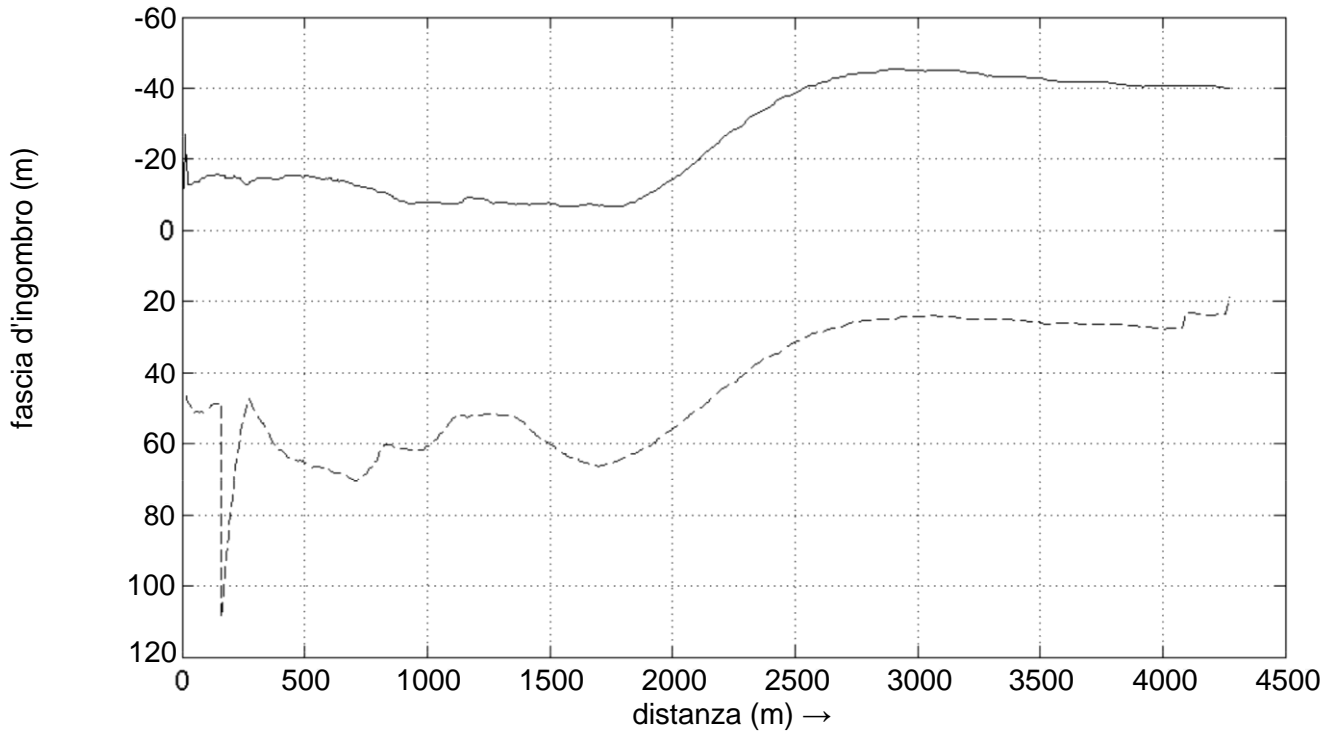
Mappa panoramica di rotta e profondità	PB9376-Livorno	12.3-WSC14xS B
	SHIPMA 7.4.0	
Royal HaskoningDHV		Fig. A



Velocità propulsore, velocità nave e mappa
angolo di barra

PB9376-Livorno D12.3-WSC1-4xSB

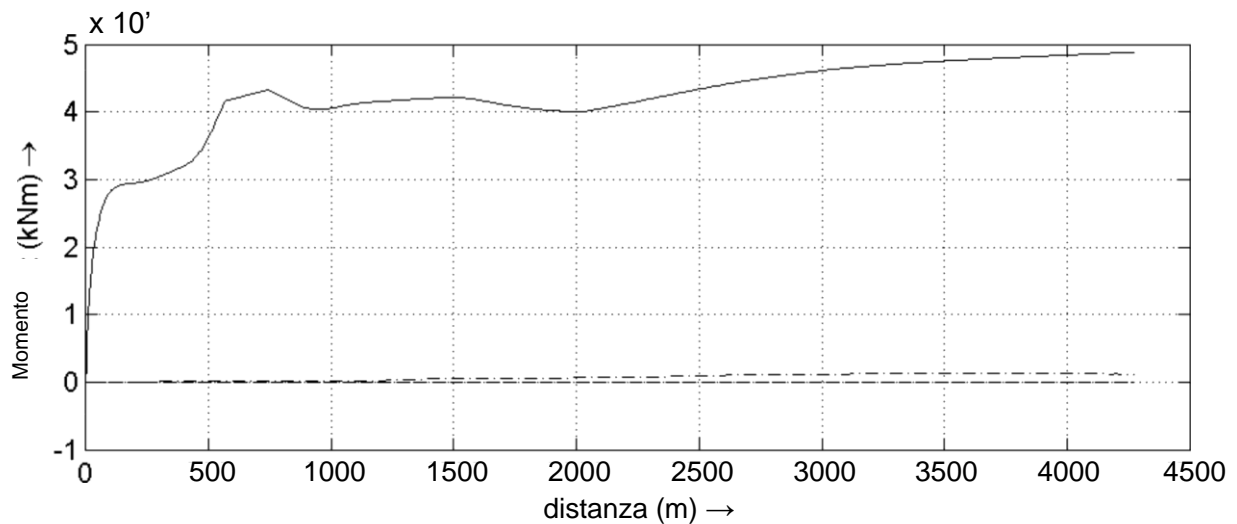
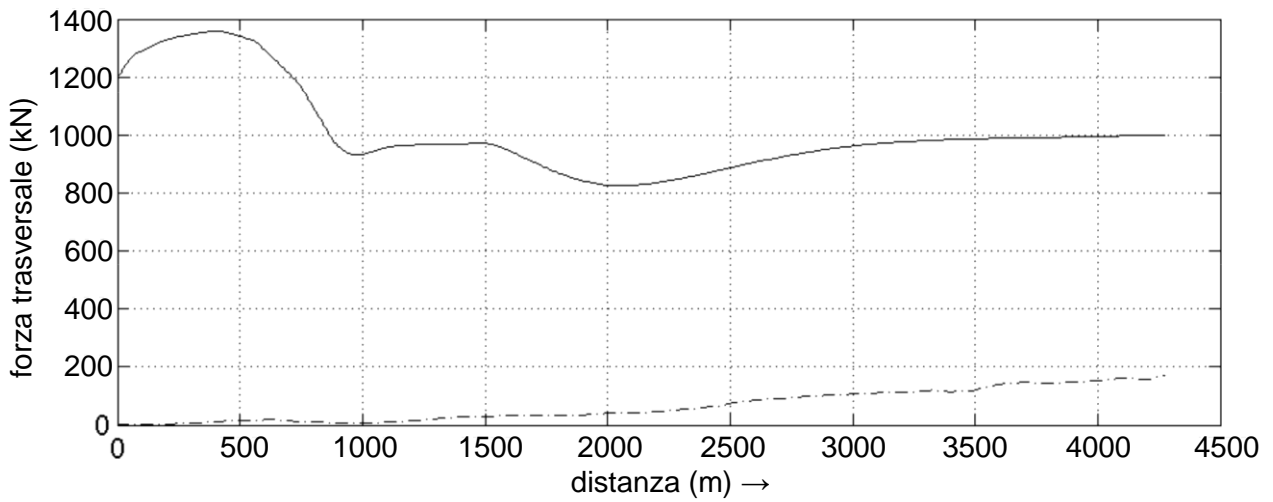
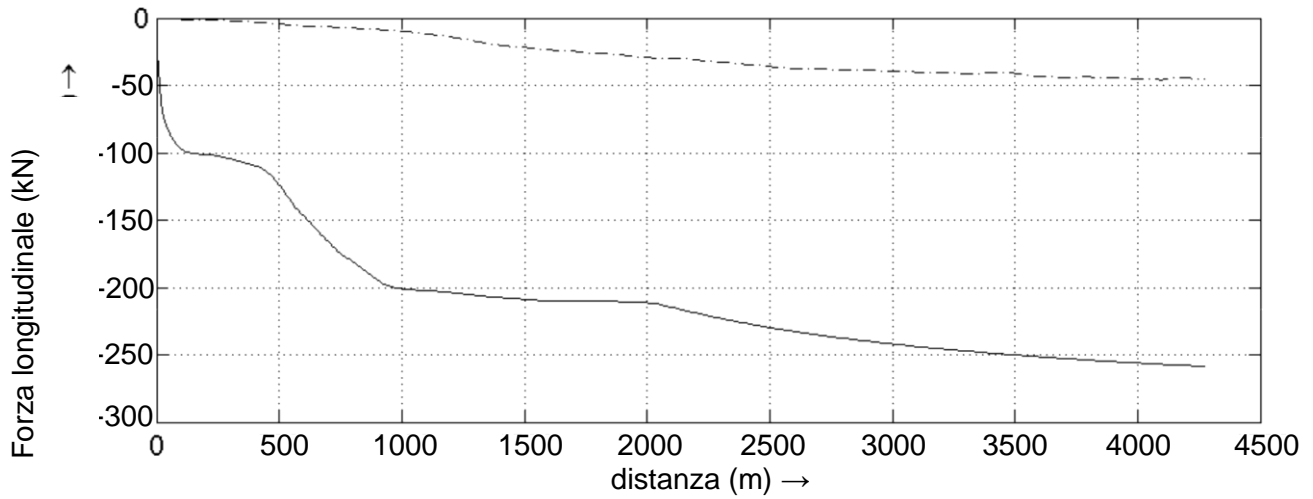
SHIPMA 7.4.0



Fascia d'ingombro e profondità a dritta
(tratteggiato) e a sinistra (linea
continua)

PB9376-Livorno D12.3-WSC1-4xSI

SHIPMA 7.4.0



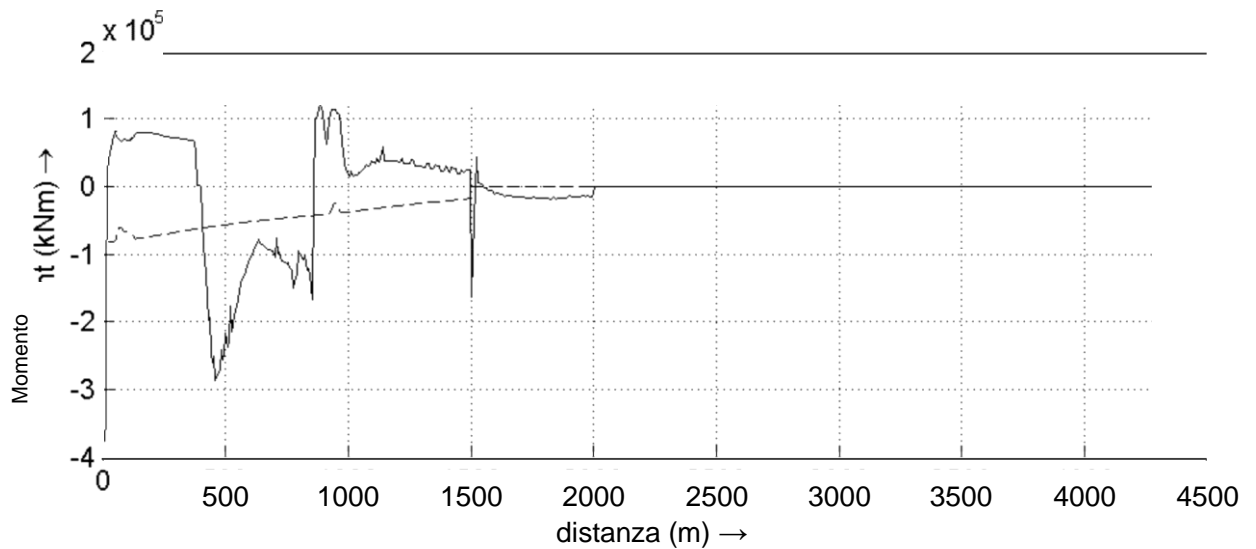
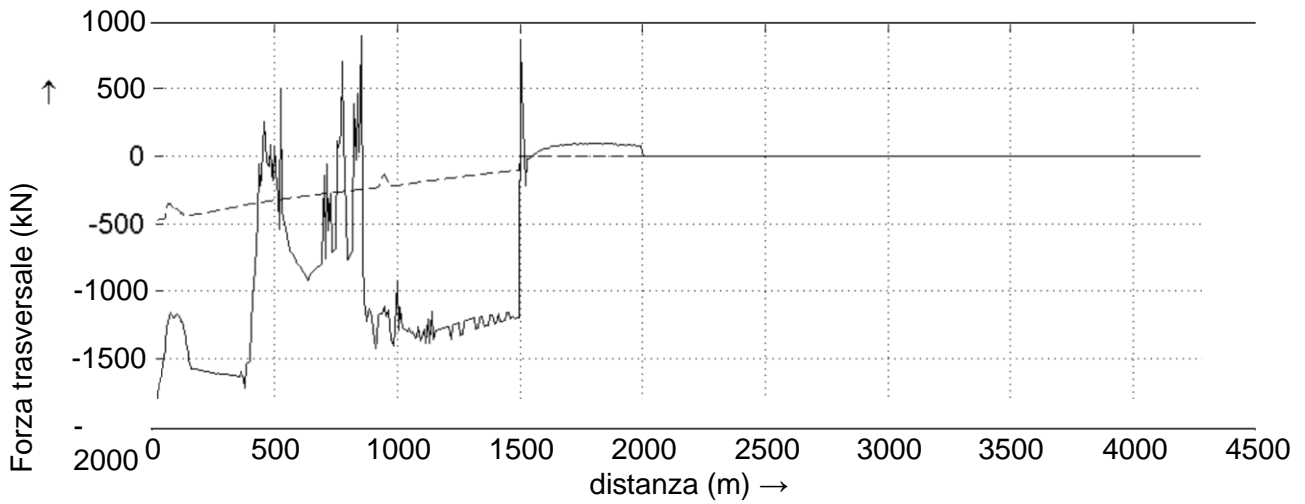
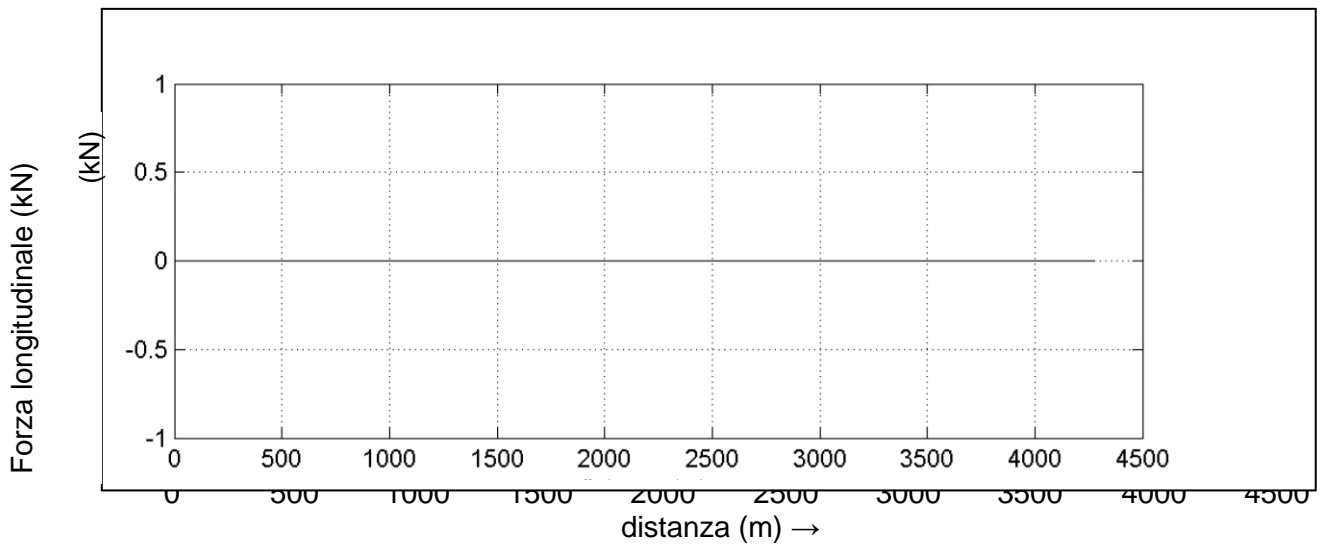
Mappe forze esterne
Vento (linea continua), onde (tratteggiata), mare lungo (tratto e punto) ed effetto banco (punteggiato)

PB9376-Livorno 012.3-WSC1-4xSI

SHIPMA 7.4.0

Royal HaskoningDHV

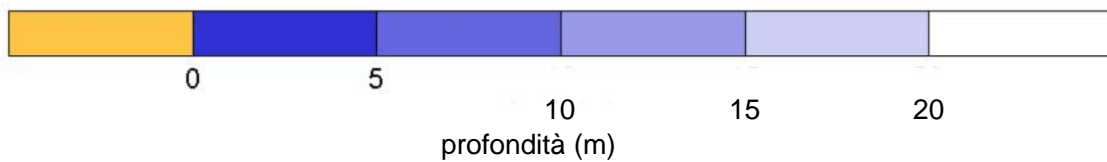
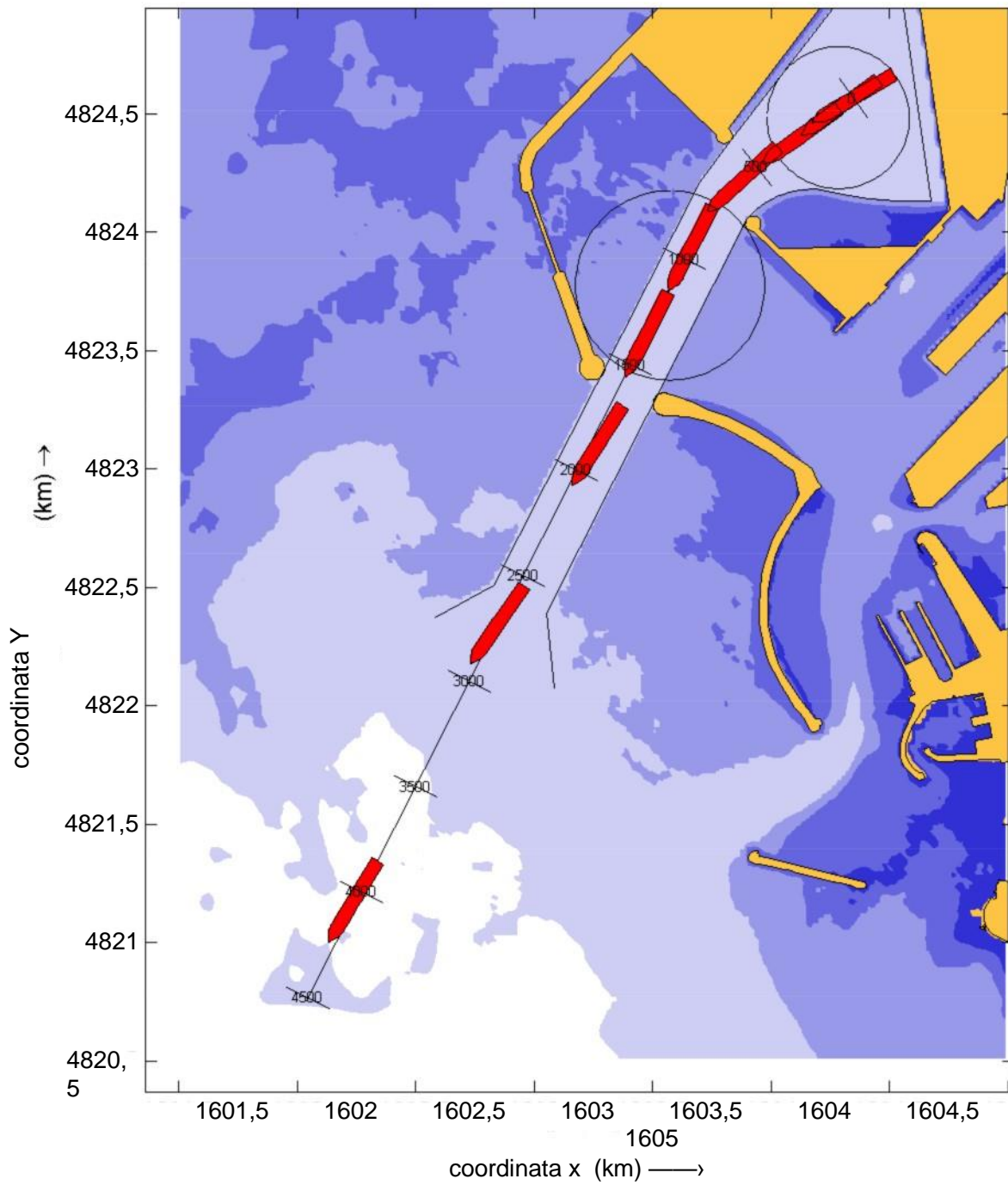
Fig. D



Mappe di forza di rimorchio e spinta
 Forze di rimorchio (linea continua) e forze di
 spinta (tratteggiata)

PB9376-Livorno 012.3-WSC1-4xSI

SHIPMA 7.4.0



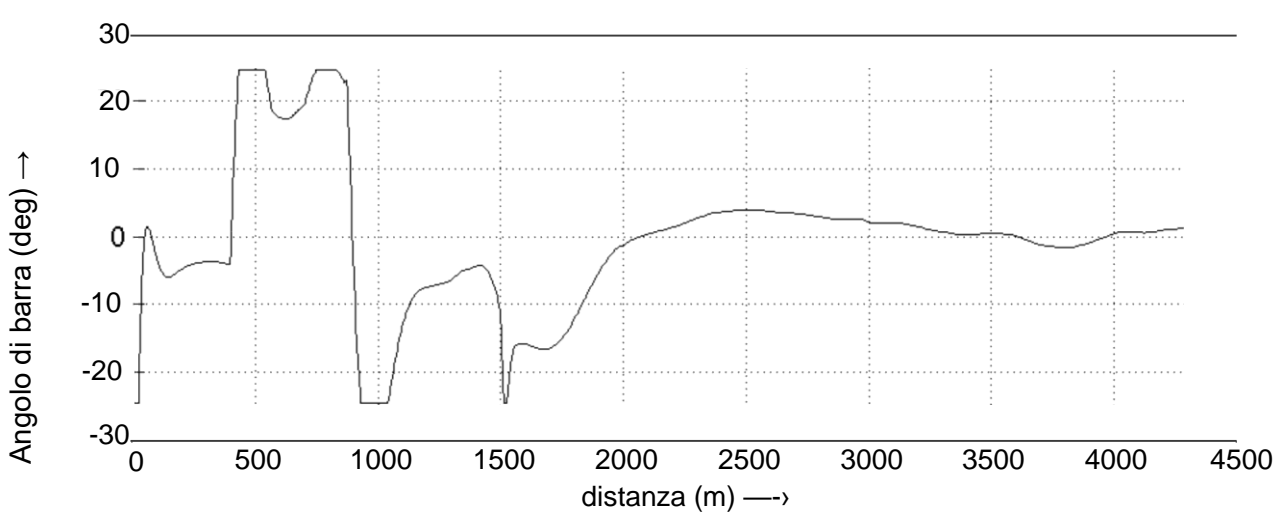
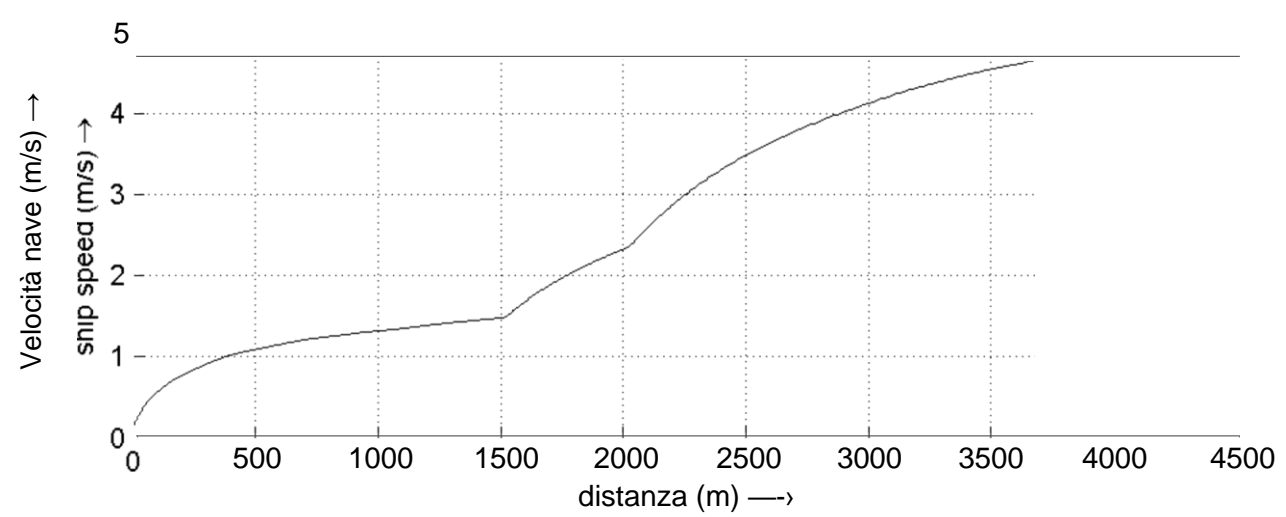
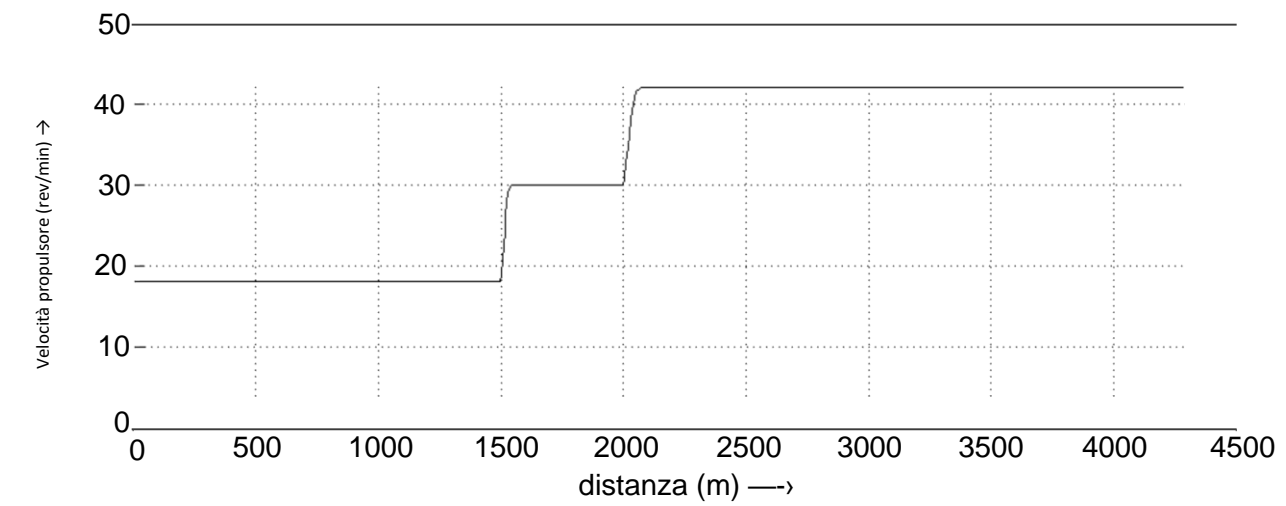
Mappa panoramica di rotta e profondità

SHIPMA 7.4.0

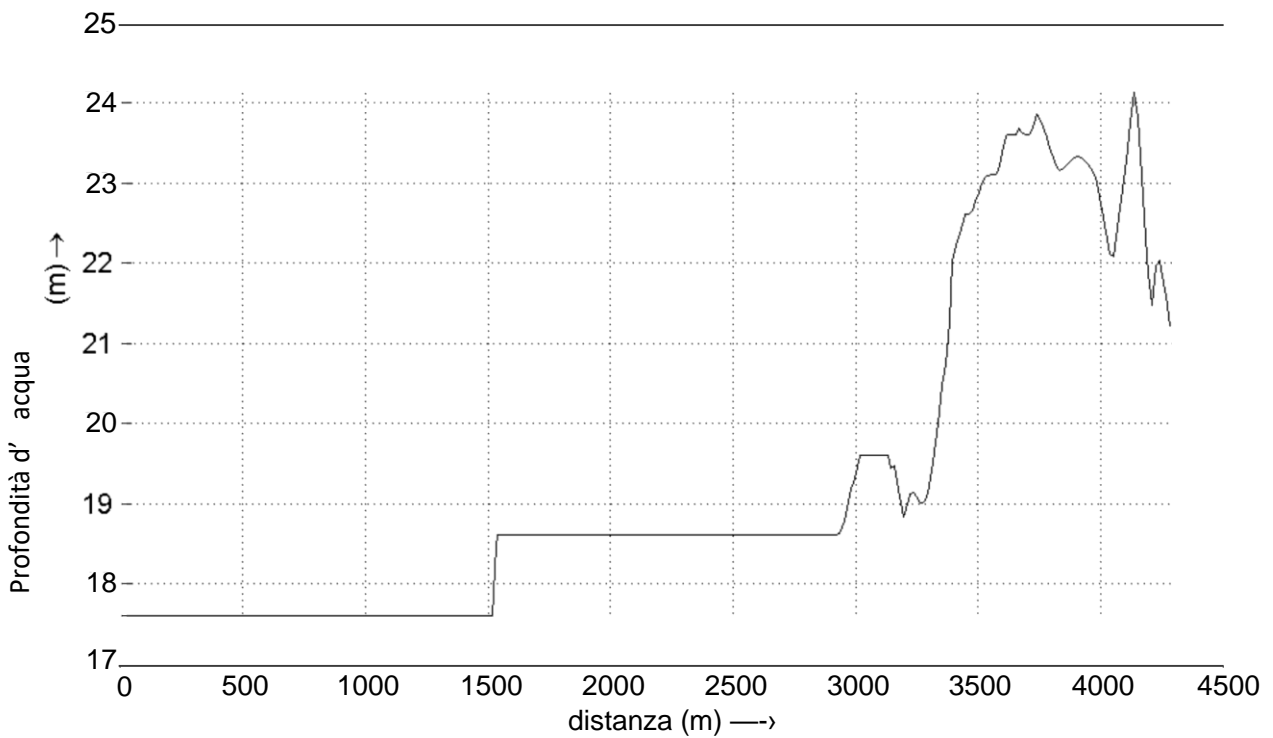
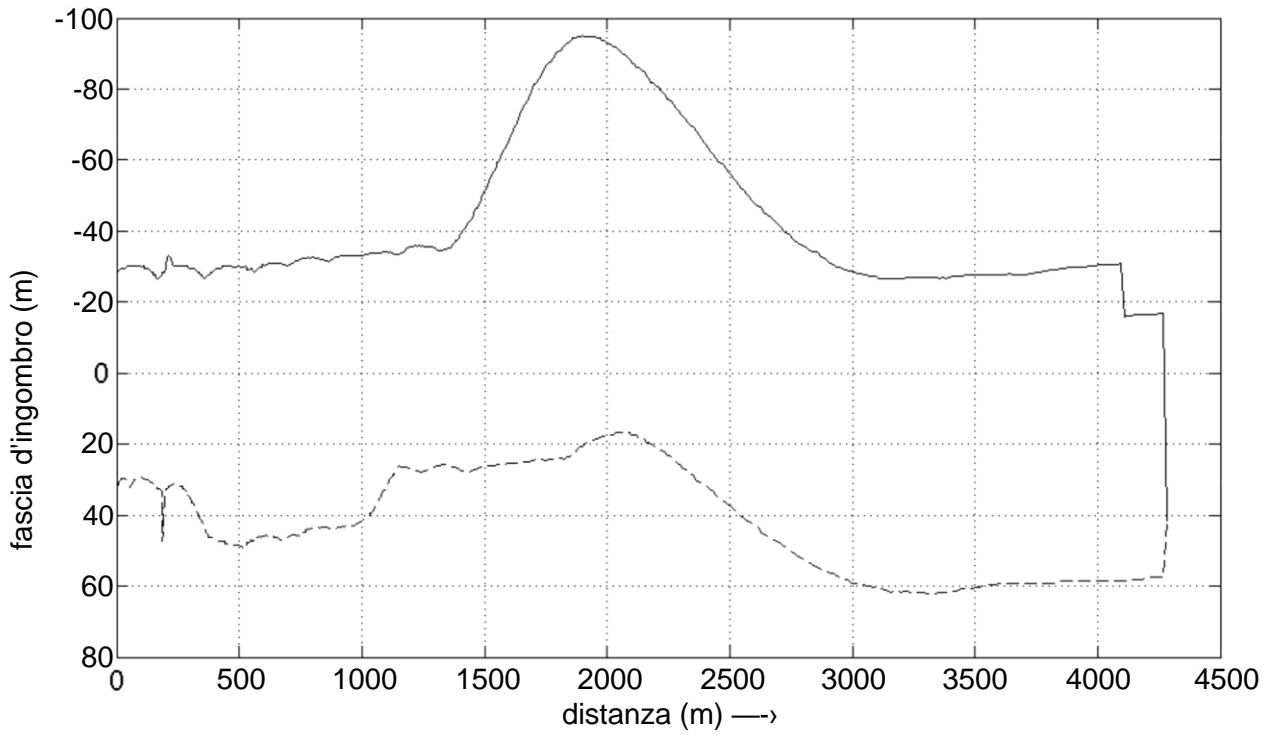
PB9376-Livorno D13.7-WSC24xS B

Royal HaskoningDHV

Fig. A



Velocità propulsore, velocità nave e mappa angolo di barra	PB9376-Livorno	013.7-WSC2-4xSI
	SHIPMA 7.4.0	
Royal HaskoningDHV		Fig. B



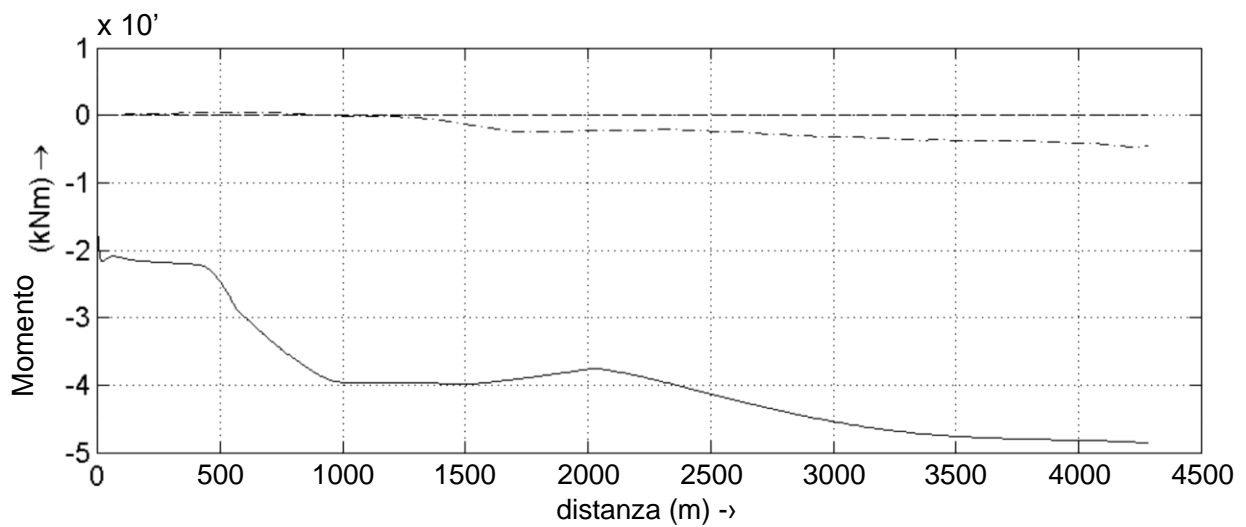
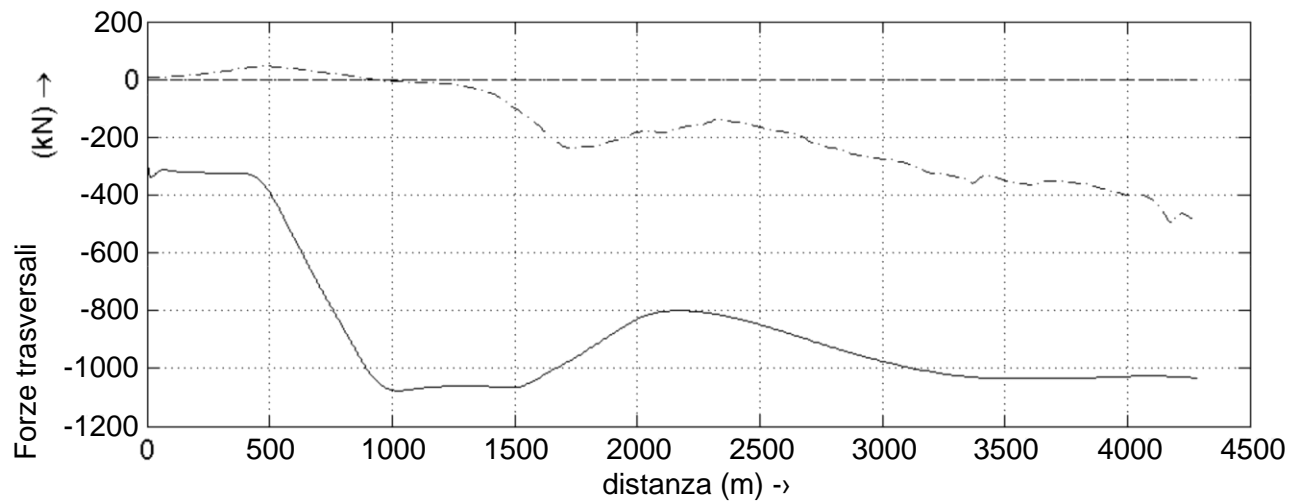
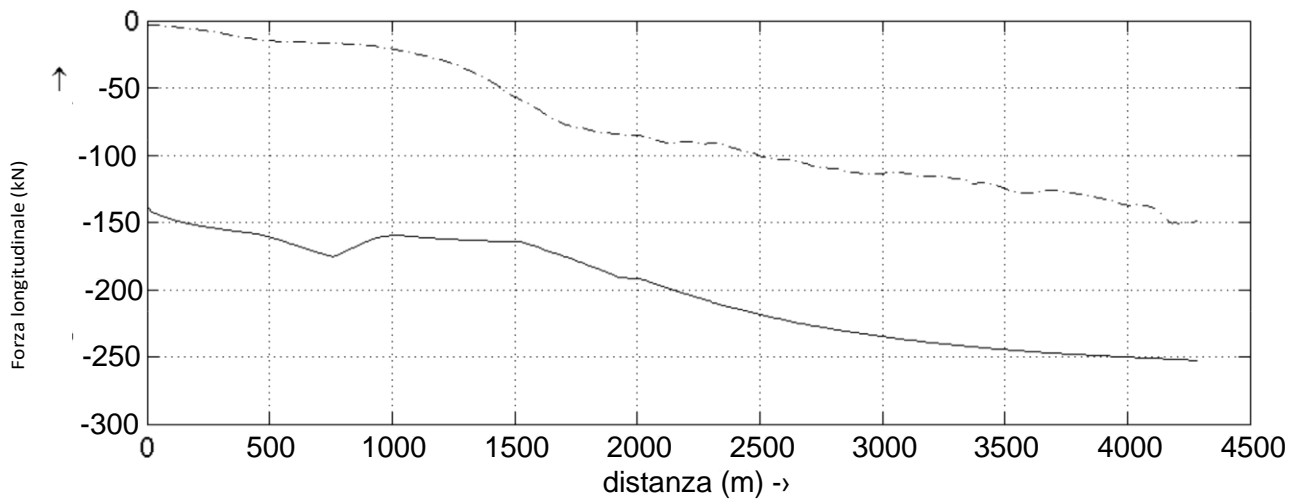
Fascia d'ingombro e profondità a dritta (tratteggiato) e a sinistra (linea continua)

PB9376-Livorno 013.7-WSC2-4xSI

SHIPMA 7.4.0

Royal HaskoningDHV

Fig. C



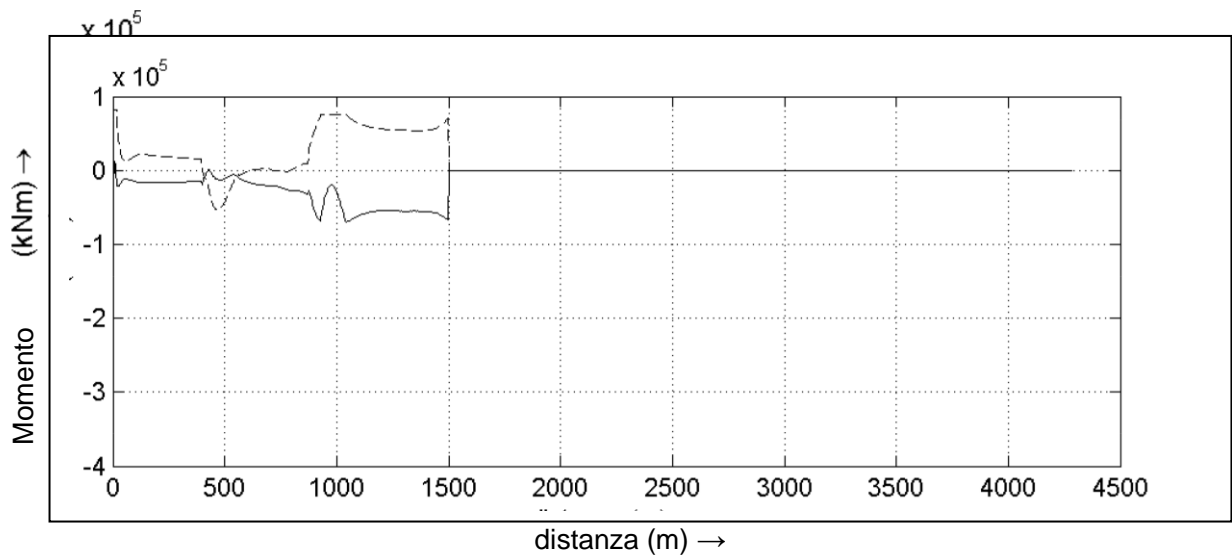
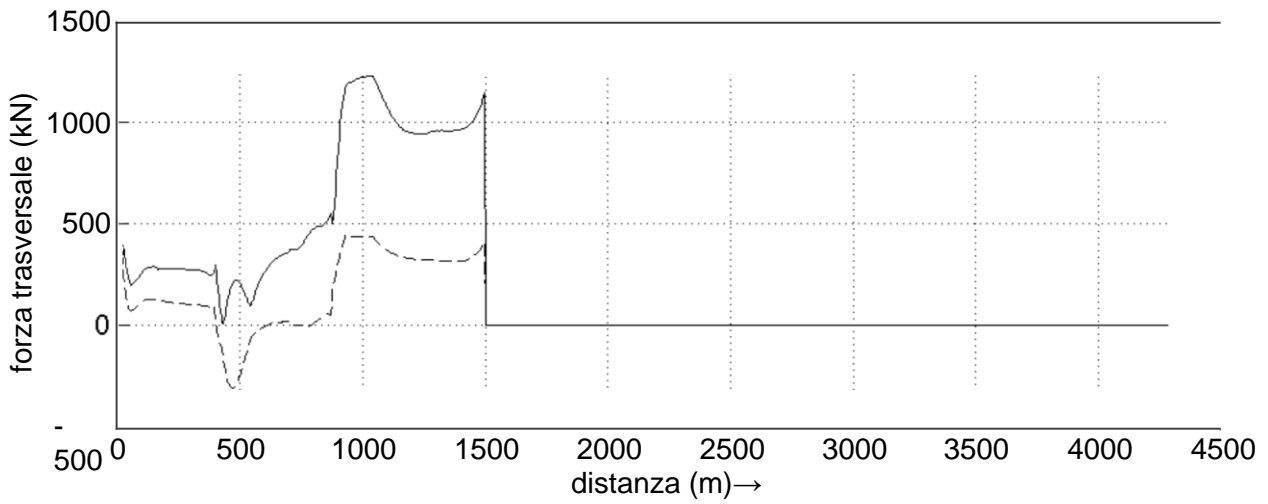
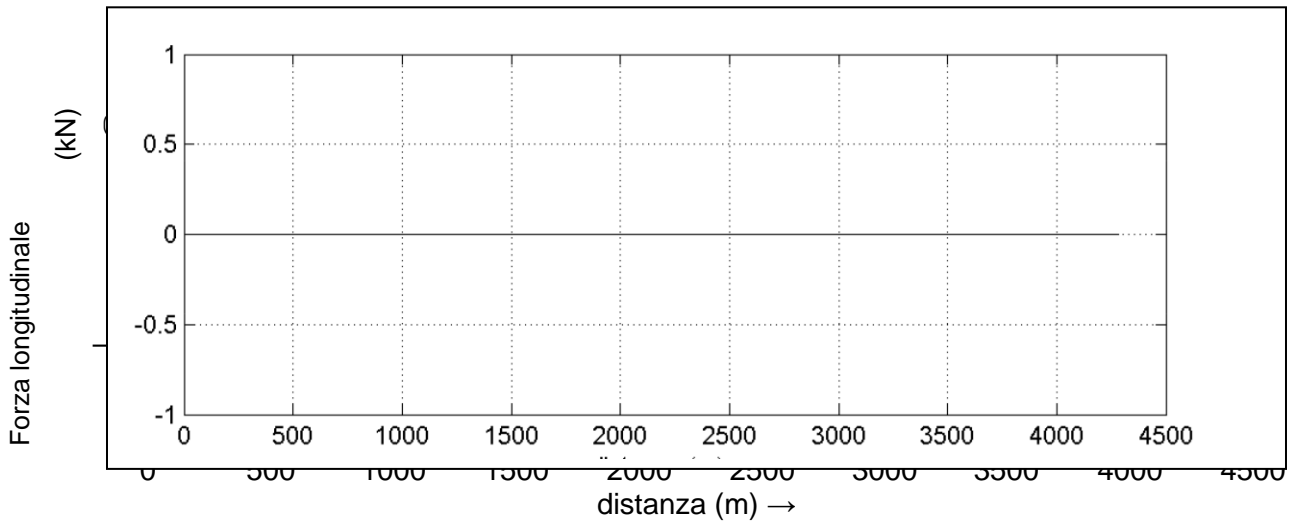
Mappe forze esterne
 Vento (linea continua), onde (tratteggiata), mare lungo (tratto e punto) ed effetto banco (punteggiato)

PB9376-Livorno D13.7-WSC24xS B

SHIPMA 7.4.0

Royal HaskoningDHV

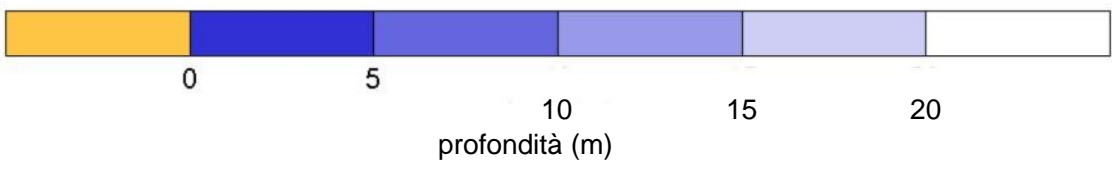
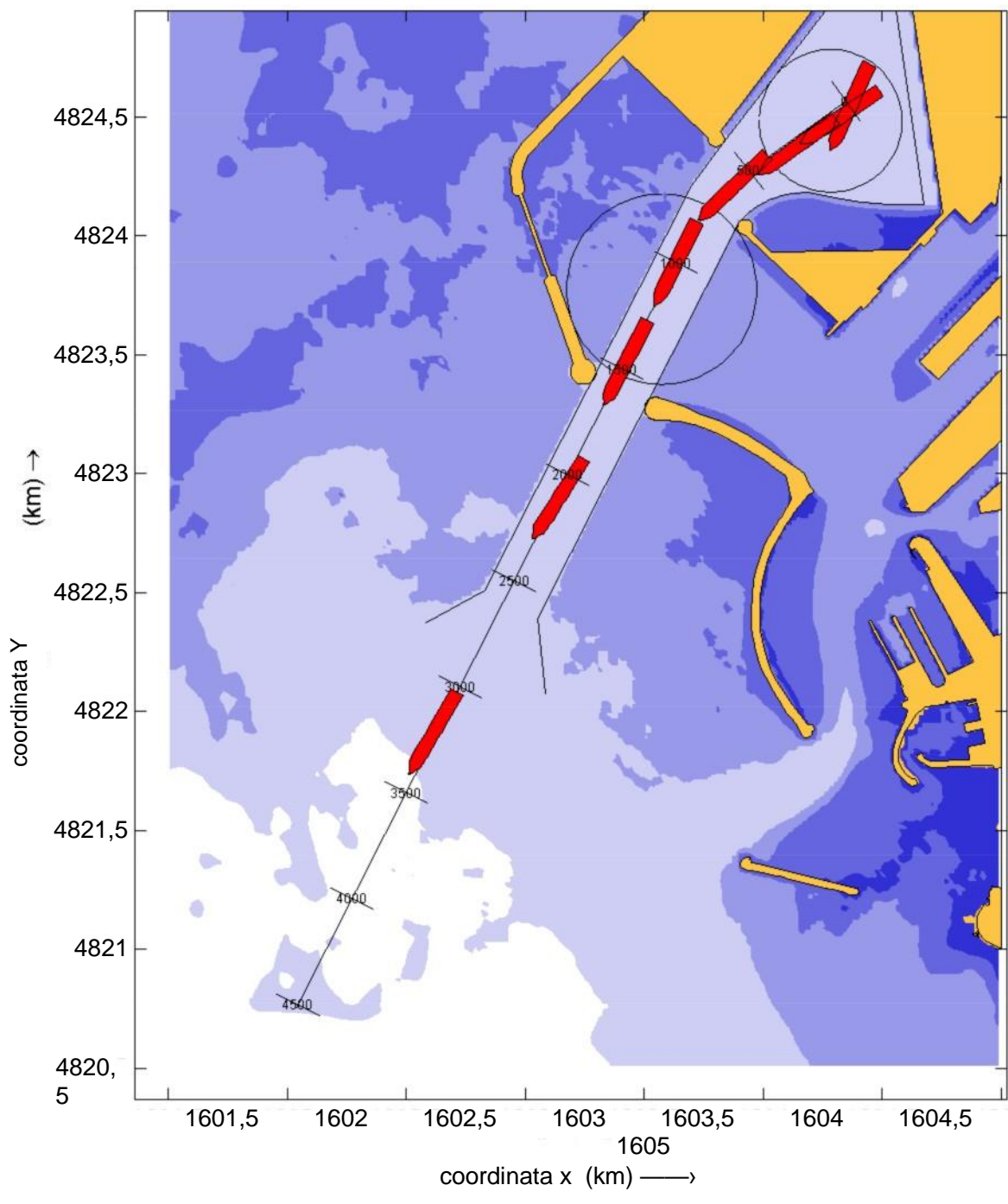
Fig. D



Mappe di forza di rimorchio e spinta
 Forze di rimorchio (linea continua) e
 forze di spinta (tratteggiata)

PB9376-Livorno D13.7-WSC24xSB

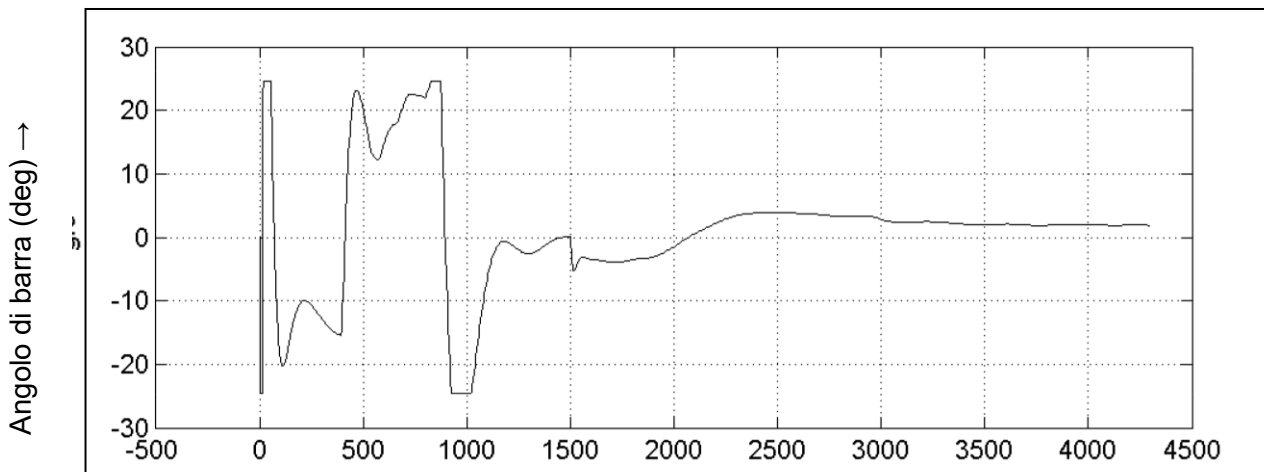
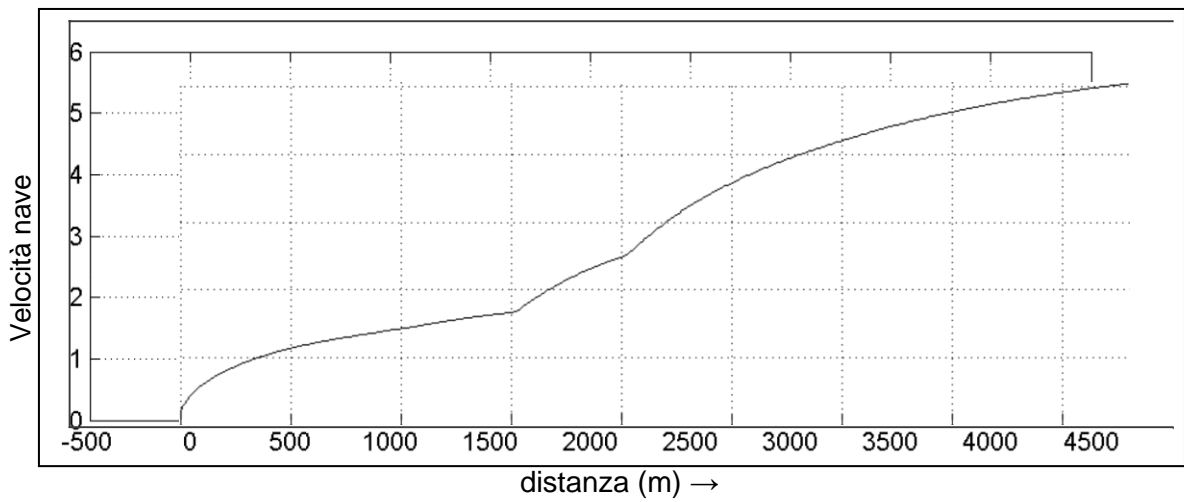
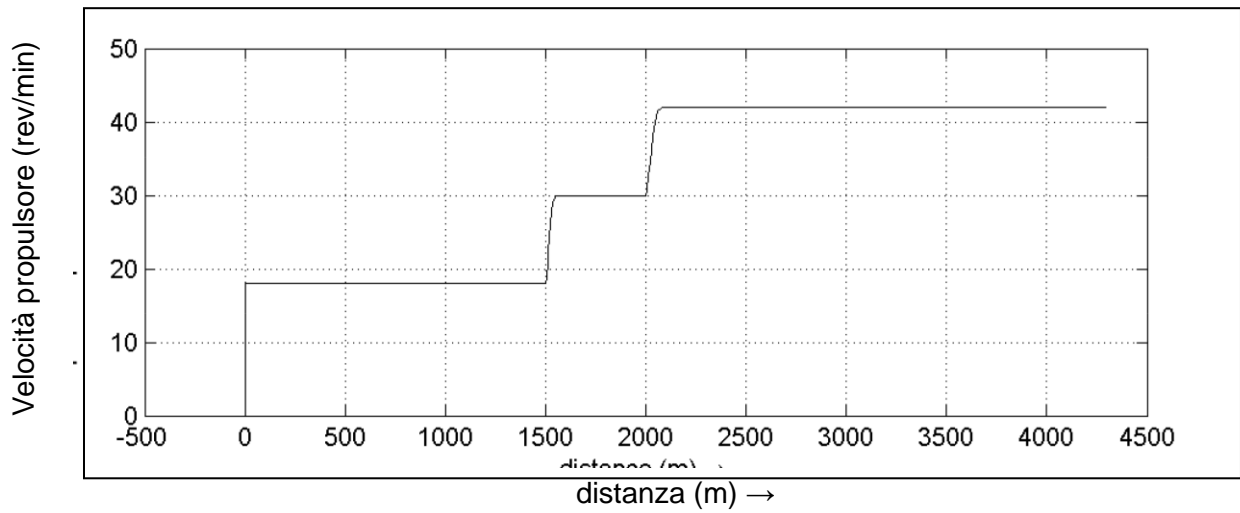
SHIPMA 7.4.0



Mappa panoramica di rotta e profondità

Royal HaskoningDHV

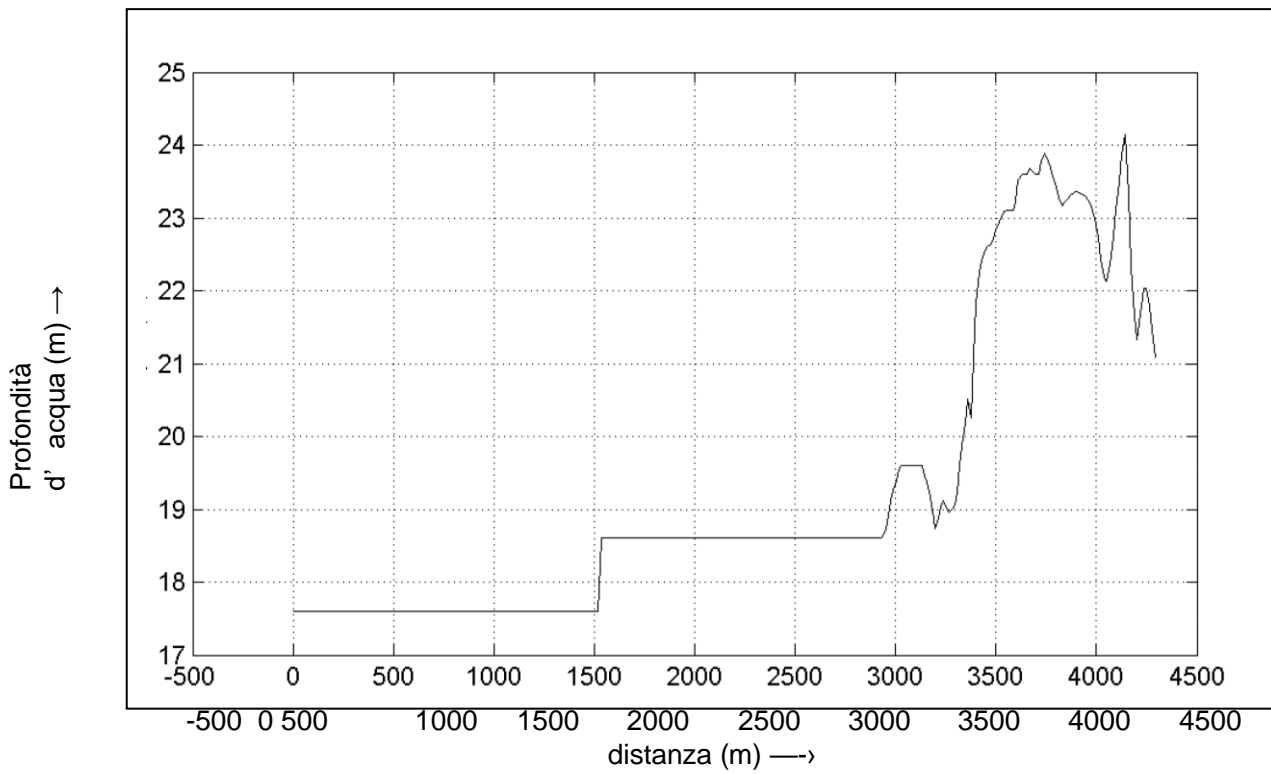
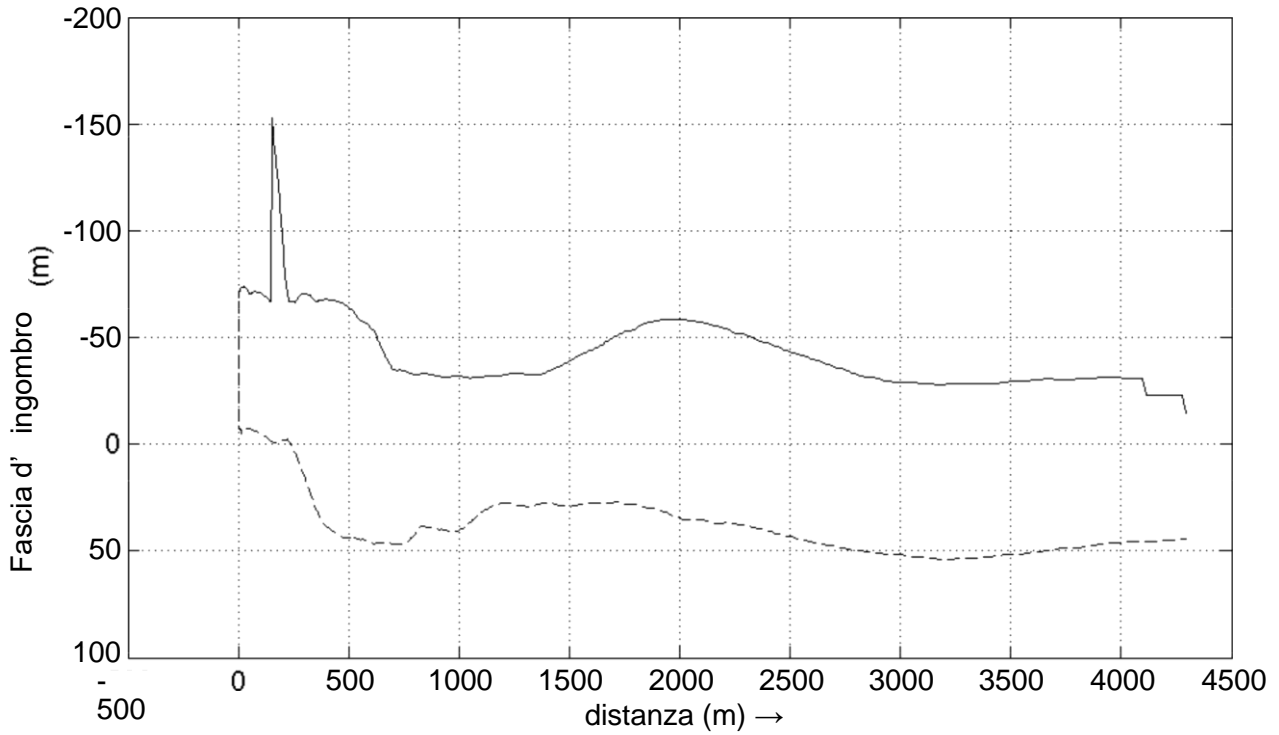
PB9376-Livorno	D14.3-WSC3-4xS
SHIPMA 7.4.0	
	Fig. A



Velocità propulsore, velocità nave e mappa
angolo di barra

PB9376-Livorno D14.3-WSC3-4xSB

SHIPMA 7.4.0



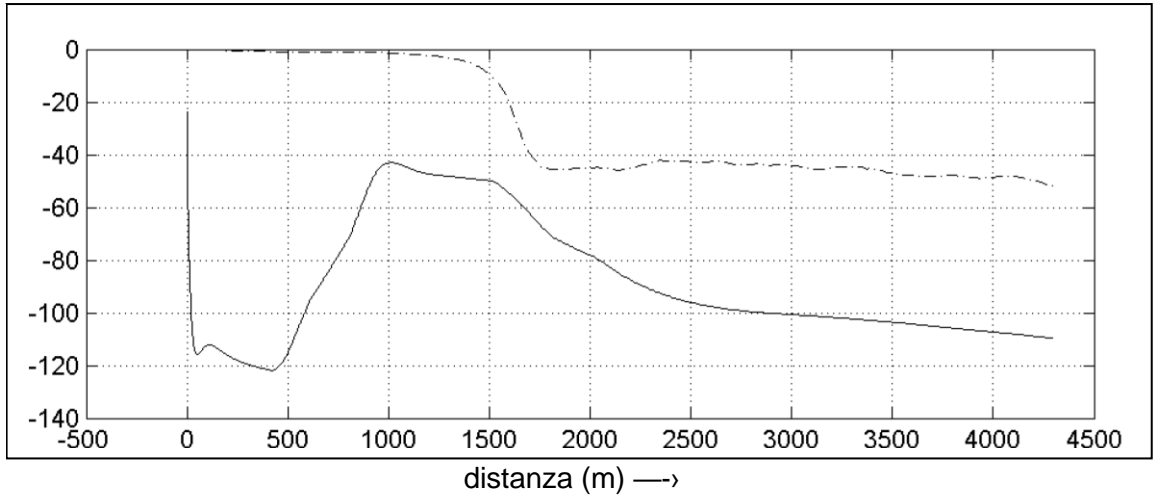
Fascia d'ingombro e profondità a dritta
(tratteggiato) e a sinistra (linea continua)

PB9376-Livorno D14.3-WSC3-4xSB

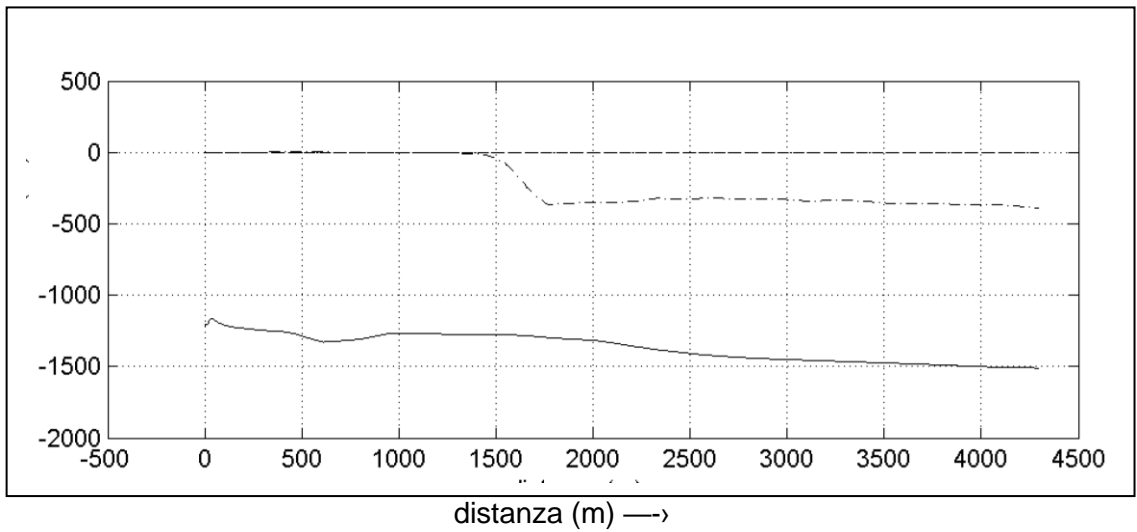
SHIPMA 7.4.0

Fig. C

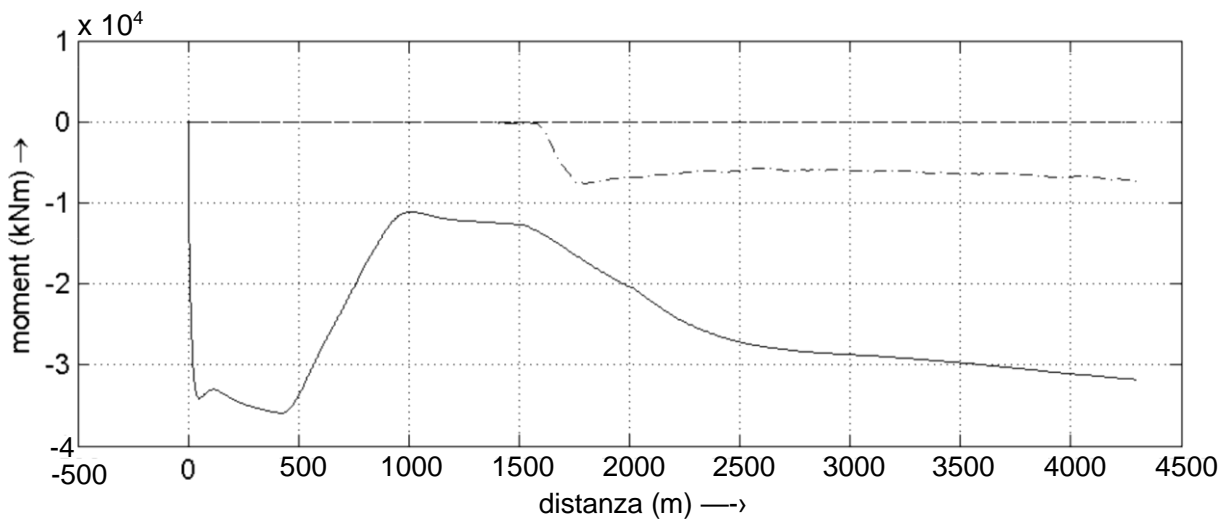
Forze longitudinali (kN)



Forze trasversali (kN)



Momento



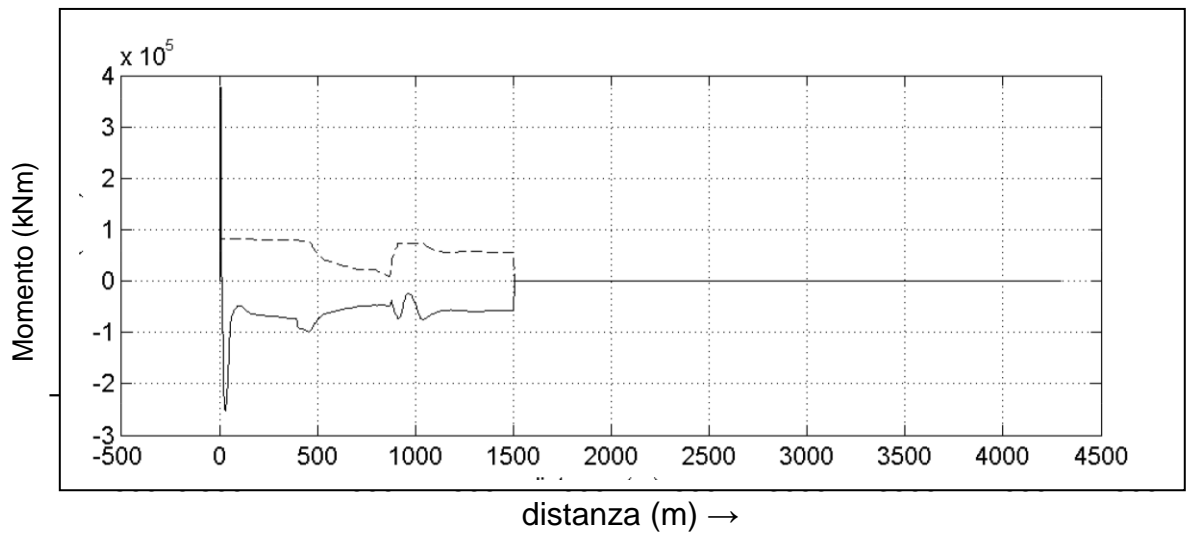
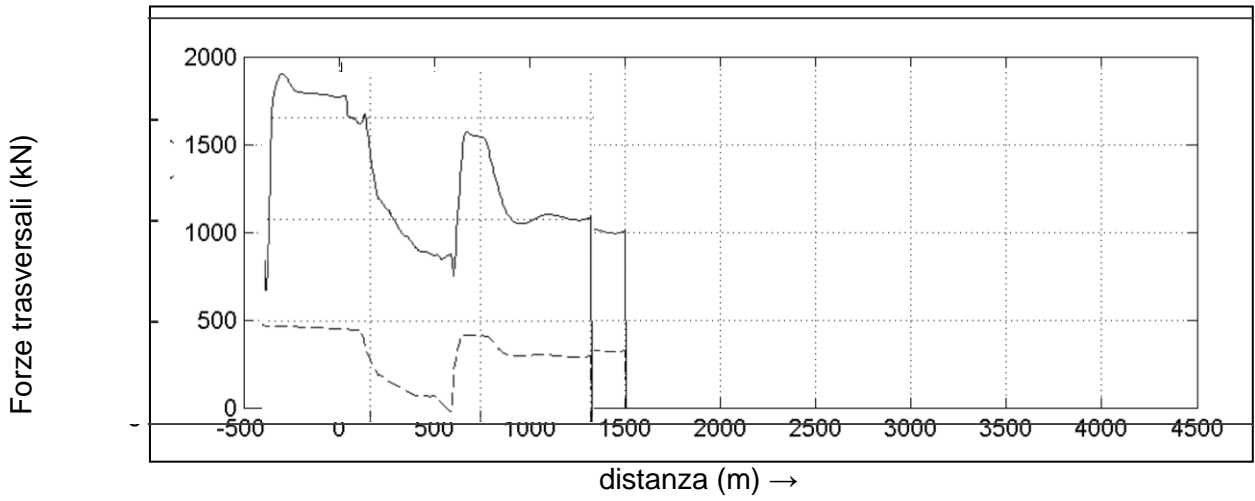
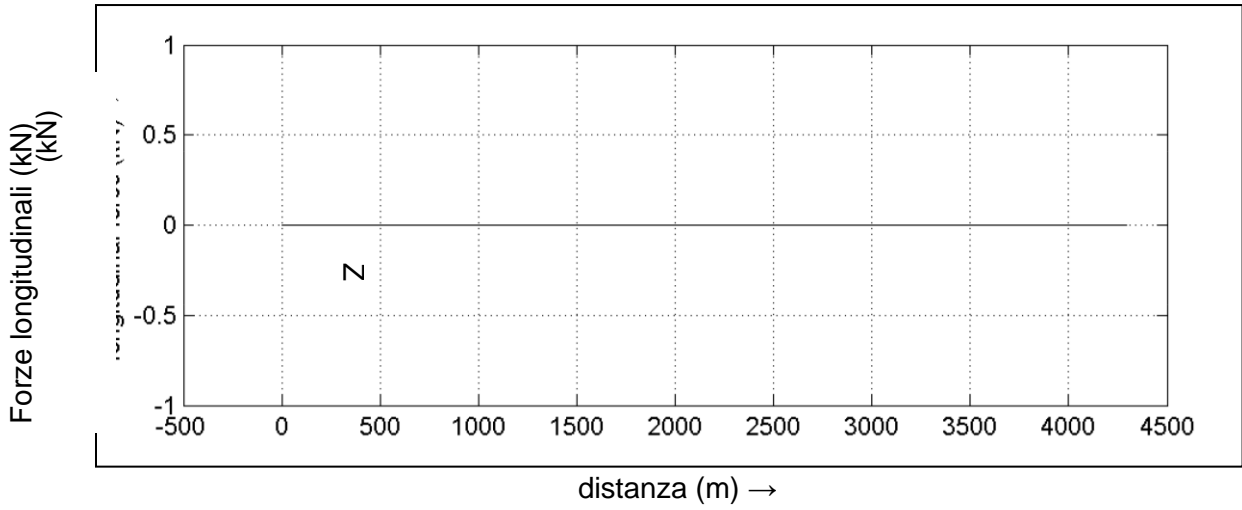
Mappe forze esterne
 Vento (linea continua), onde (tratteggiata), mare lungo (tratto e punto) ed effetto banco (punteggiato)

PB9376-Livorno | D14.3-WSC3-4xSB

SHIPMA 7.4.0

Royal HaskoningDHV

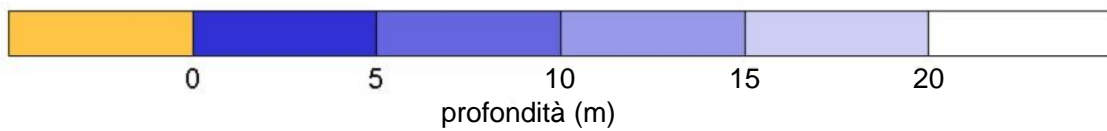
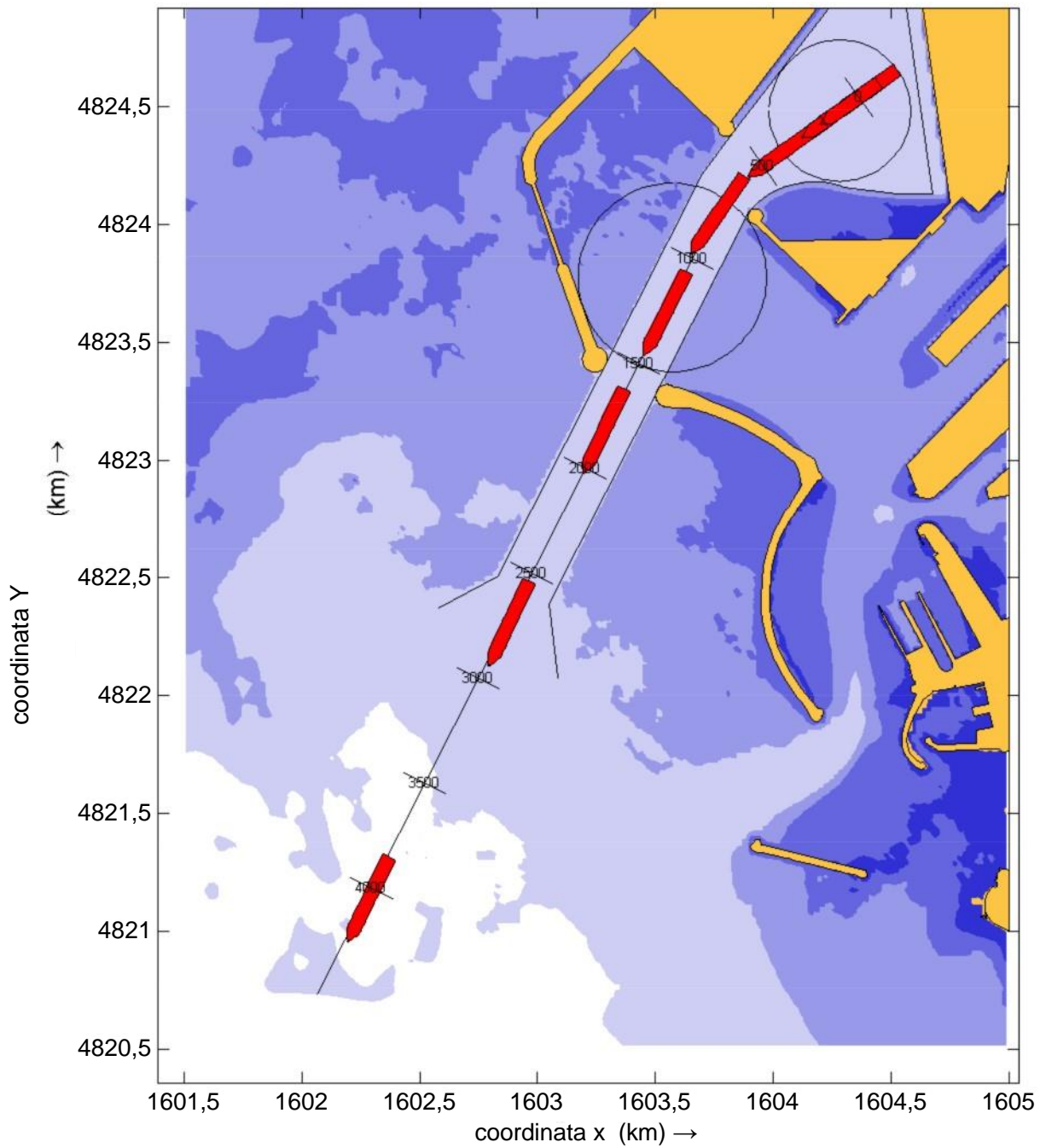
Fig. D



Mappe di forza di rimorchio e spinta
 Forze di rimorchio (linea continua) e forze di
 spinta (tratteggiata)

PB9376-Livorno 014.3-WSC3-4xSI

SHIPMA 7.4.0



Mappa panoramica di rotta e profondità

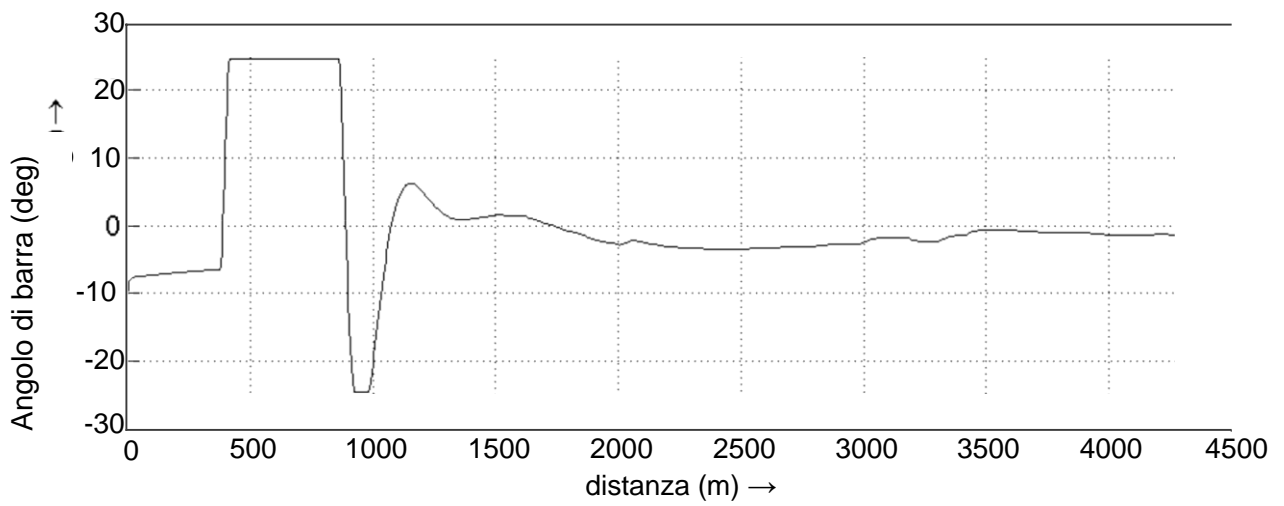
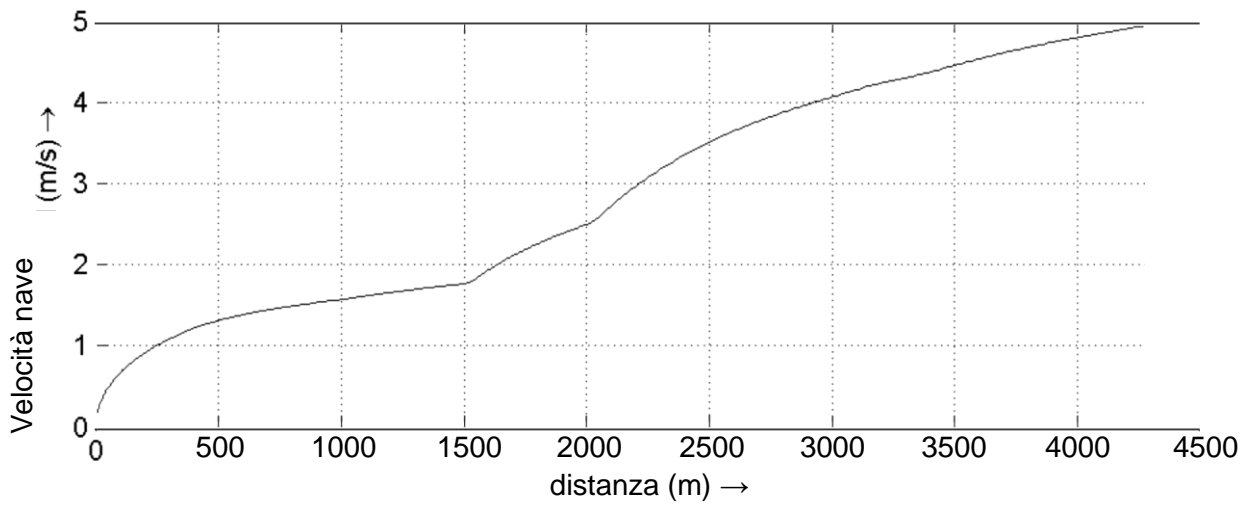
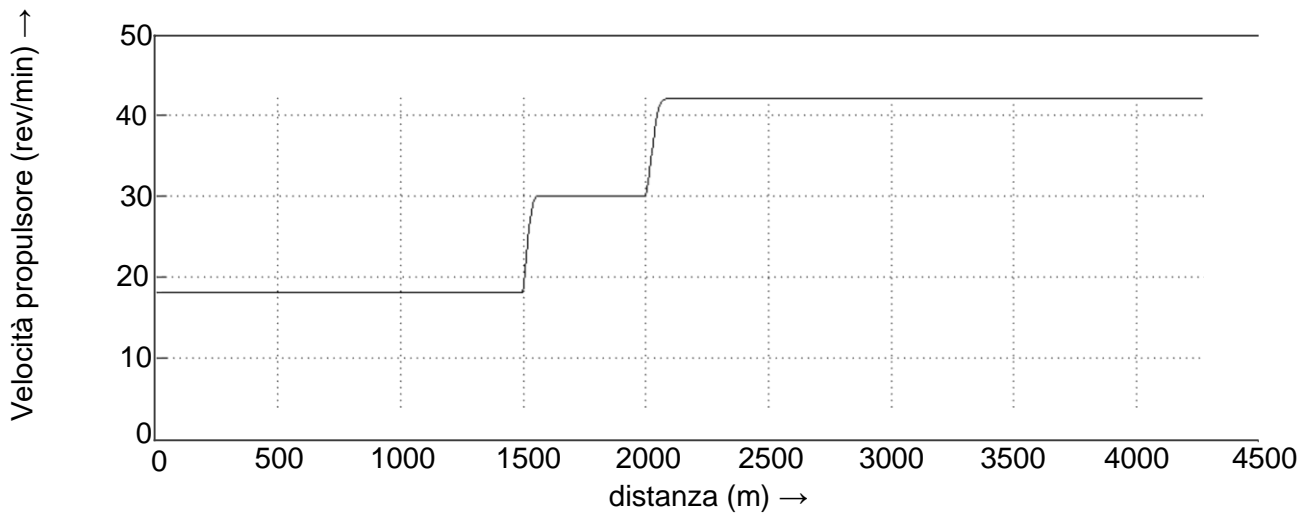
PB9376-Livorno

D15.3-W44xSB

SHIPMA 7.4.0

Royal HaskoningDHV

Fig. A

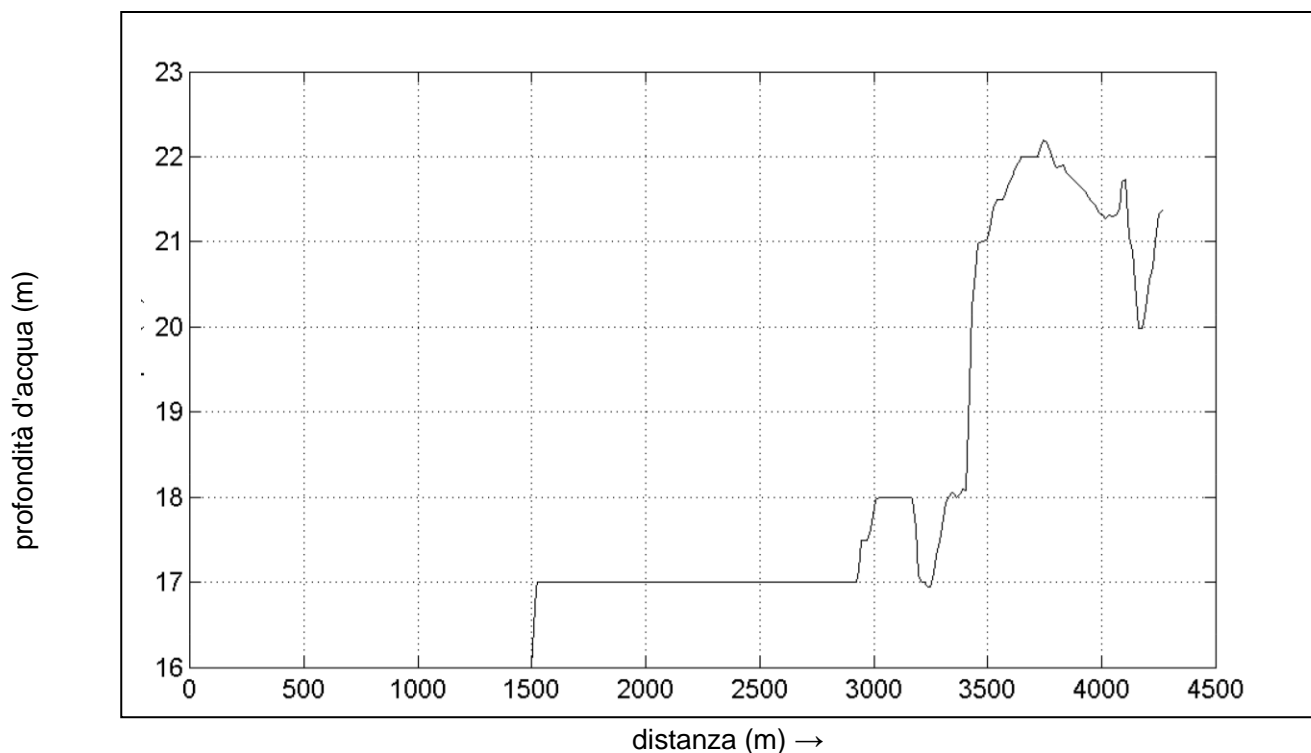
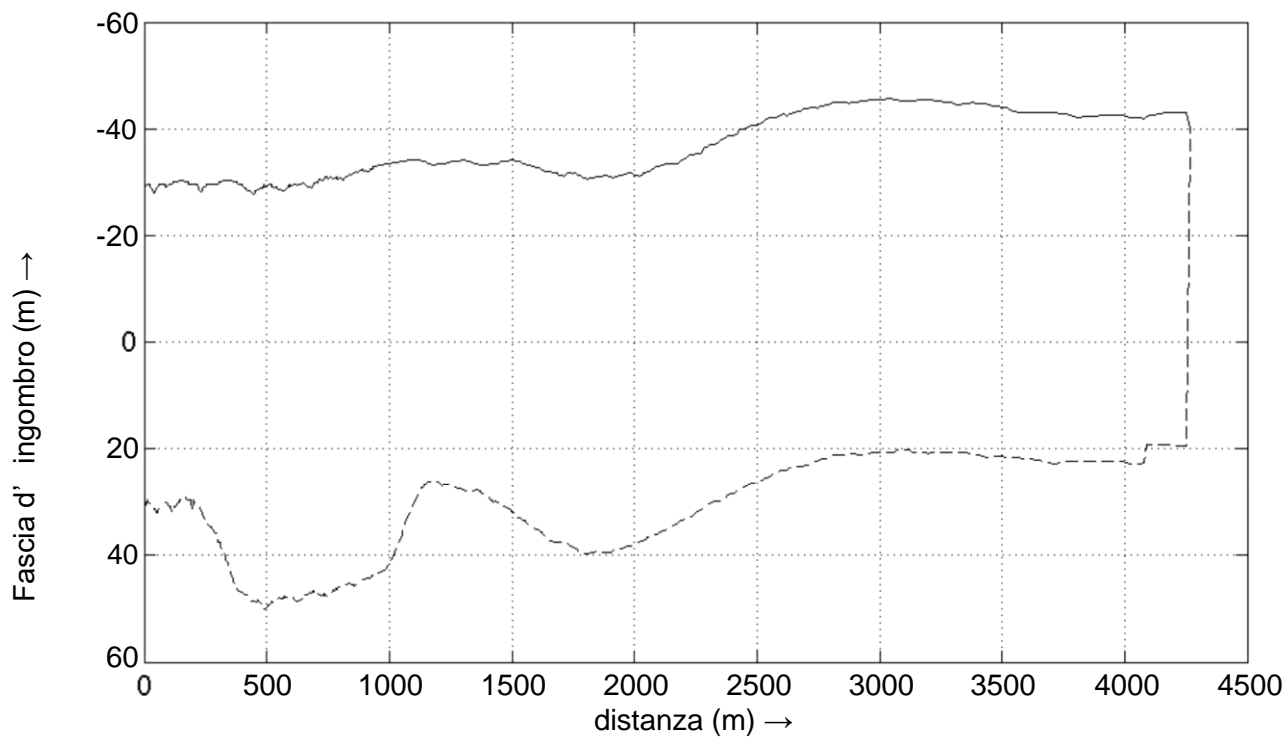


Velocità propulsore, velocità nave e mappa angolo di barra

PB9376-Livorno

D15.3-W4-4xSB

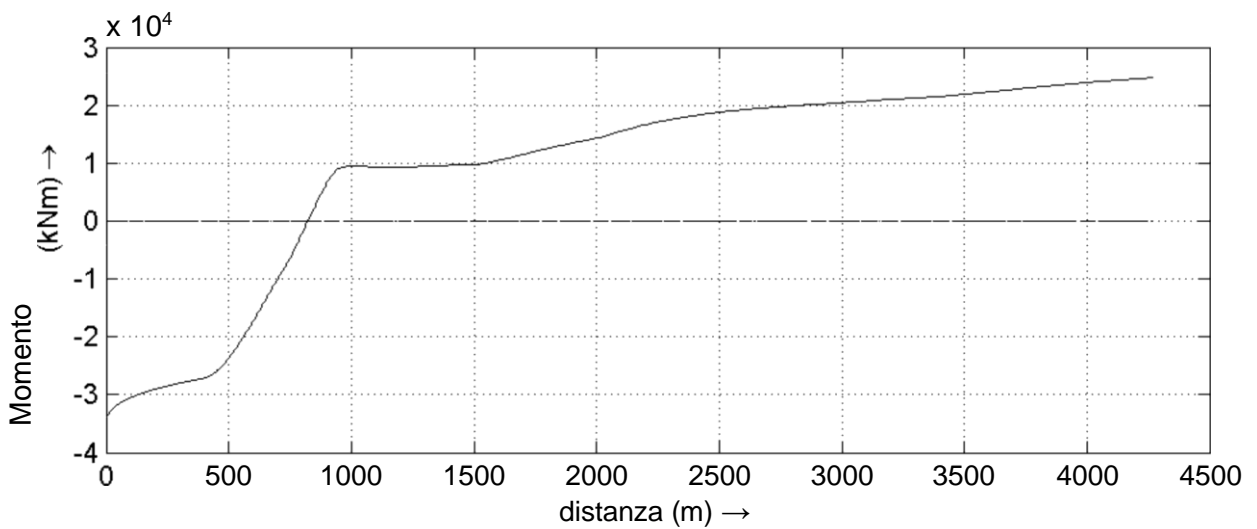
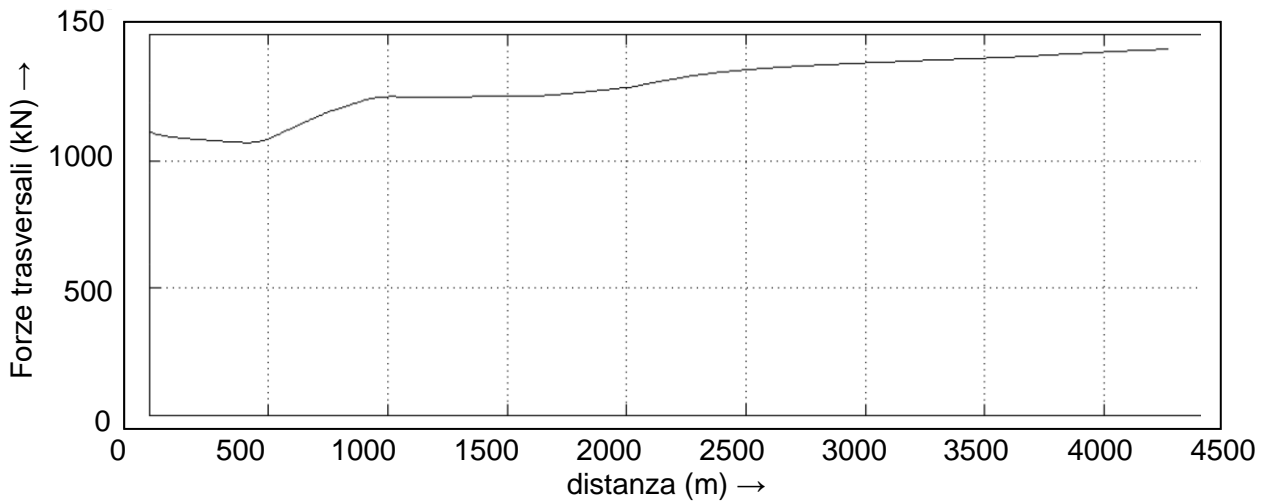
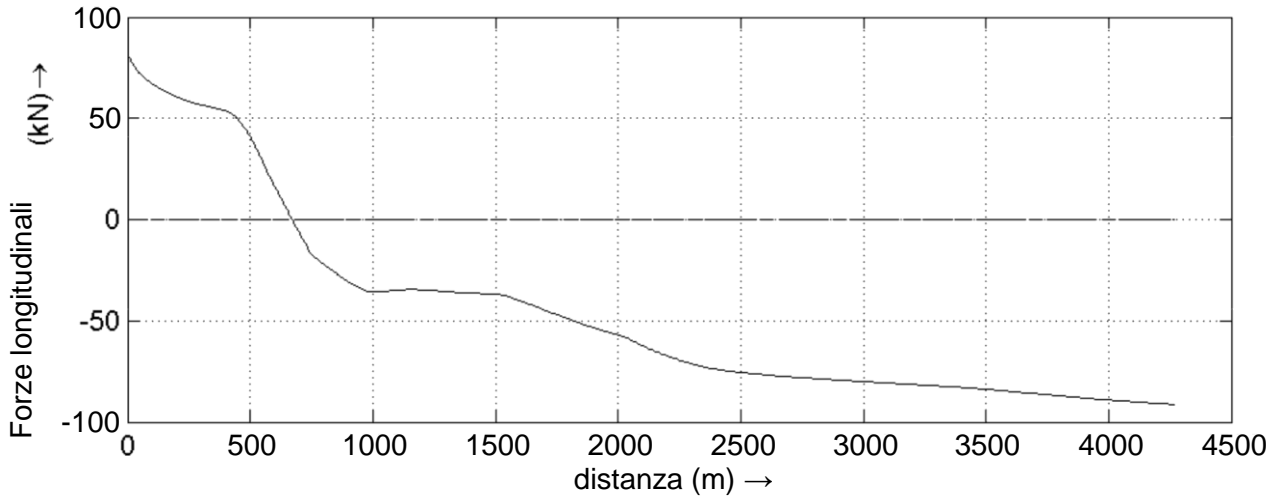
SHIPMA 7.4.0



Fascia d'ingombro e profondità a dritta
(tratteggiato) e a sinistra (linea continua)

PB9376-Livorno D15.3-W4-4xSB

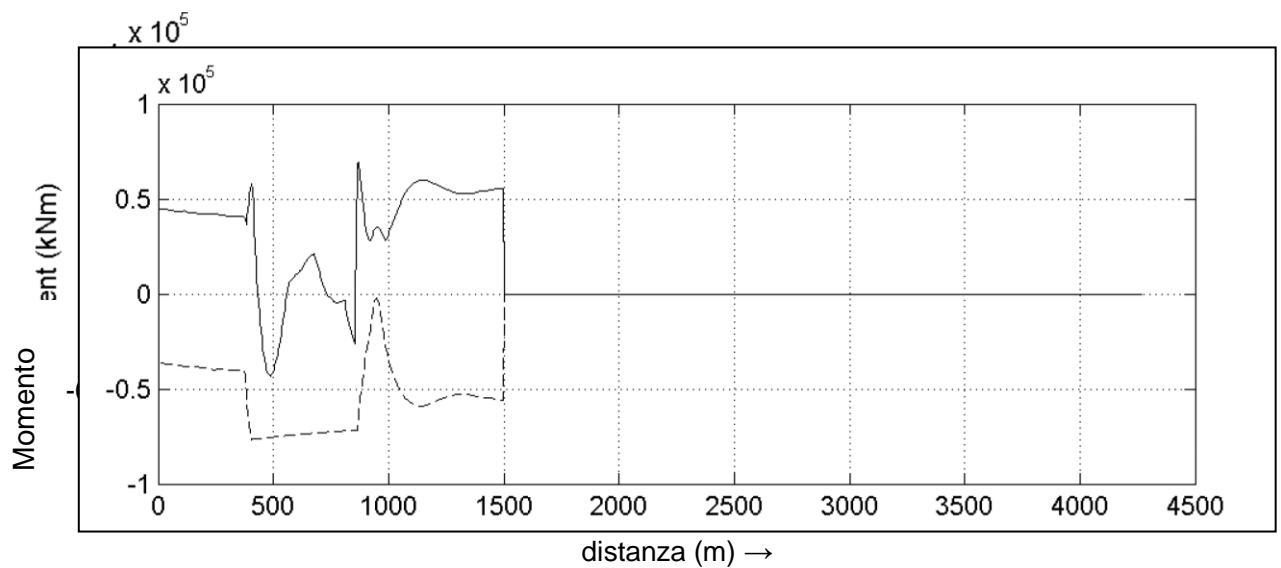
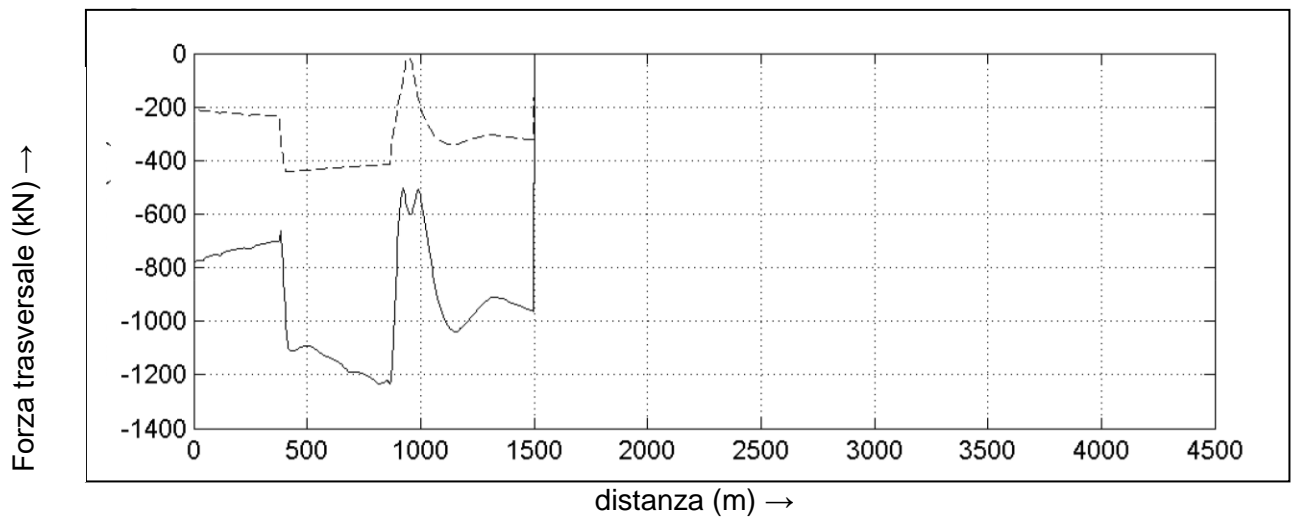
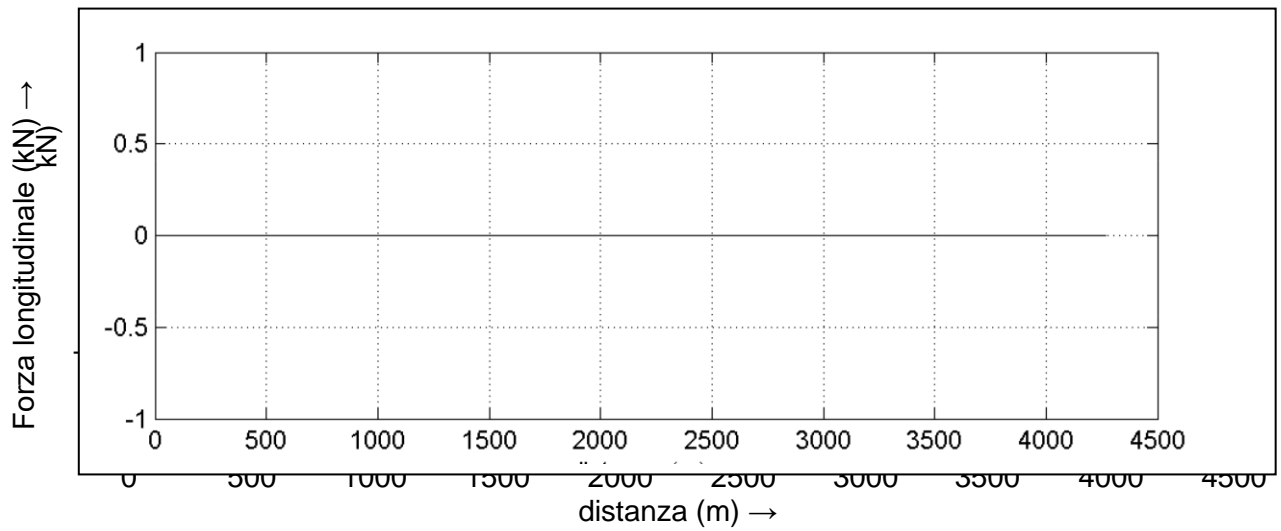
SHIPMA 7.4.0



Mappe forze esterne
 Vento (linea continua), onde (tratteggiata), mare lungo (tratto e punto) ed effetto banco (punteggiato)

PB9376-Livorno D15.3-W4-

4xSB SHIPMA 7.4.0



Mappe di forza di rimorchio e spinta

Forze di rimorchio (linea continua) e forze di spinta
(tratteggiata)

PB9376-Livorno D15.3-W44xSB

SHIPMA 7.4.0