



TERMINAL GNL NEL PORTO CANALE DI CAGLIARI PROGETTO AUTORIZZATIVO

TERMINAL GNL NEL PORTO CANALE DI CAGLIARI
PROGETTO AUTORIZZATIVO



Progettazione

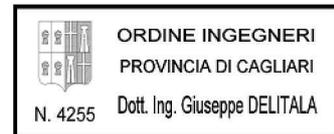
Società di ingegneria incaricata per la progettazione

Progettista e responsabile per l'integrazione
fra le varie prestazioni specialistiche



COSIN S.r.l.
SOCIETÀ DI INGEGNERIA UNIPERSONALE
09134 CAGLIARI - VIA SAN TOMMASO D'AQUINO 18
Tel e fax +39 070 2346768
info@cosinsrl.it
P.IVA 03043130925

Ing. Giuseppe Delitala



Gruppo di lavoro COSIN S.r.l.

Consulenze specialistiche:

Geologia e geotecnica
Geol. Alberto Gorini

Opere Civili
Ing. Nicola Marras

Studio di impatto ambientale
Ing. Emanuela Corona

Fotosimulazioni
Arch. Daniele Nurra

Archeologia
Archeol. Anna Luisa Sanna

Rapporto preliminare di sicurezza
Società ICARO S.r.l.

Opere antincendio
Ing. Fortunato Gangemi

Opere Marittime
Ing. Giovanni Spissu

Opere Strutturali
Ing. Francesco Fiori

Studio di impatto Acustico
Ing. Antonio Dedoni

STUDIO DI MANOVRABILITA' E NAVALITA' PORTUALE

1 - ELABORATI TECNICI E SPECIALISTICI

NOME FILE D_01_ES_13_SMN_R01					FORMATO
CODICE ELAB. D 01 ES 13 SMN R01 REV. B					A4
B	EMISSIONE A SEGUITO RICHIESTA INTEGRAZIONI DEL COMANDO PROVINCIALE DEI VIGILI DEL FUOCO DI CAGLIARI PROT.: <i>dipvvt.COM-CA.REGISTRO UFFICIALE.U.0020503.13-11-2017</i>	Settembre 2017	Spissu	Delitala	Delitala
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO



INDICE

1	PREMESSA.....	2
2	INQUADRAMENTO METEO MARINO DEL PARAGGIO	4
2.1	CONSIDERAZIONI GENERALI	4
2.2	VENTO.....	7
2.3	MOTO ONDOSI.....	8
2.4	LIVELLO DEL MARE	9
2.5	CORRENTI.....	9
3	STUDIO DELLE ROTTE DI ACCESSO E DELLE AREE DI MANOVRA.....	9
3.1	CONSIDERAZIONI GENERALI	9
3.2	NAVI DI RIFERIMENTO	10
3.3	CARATTERISTICHE DEI FONDALI.....	13
3.4	ROTTE DI ACCESSO E CANALI DI MANOVRA	14
3.4.1	Verifica secondo le Linee Guida SIGTTO.....	14
3.4.2	Verifiche secondo le linee guida AIPCN raccolte nella pubblicazione “Harbour Approach Channels Design Guidelines, Pianc rep. no. 121 (2014)”	14
3.5	AREE DI EVOLUZIONE	27
3.6	SCENARI DI TRANSITO DELLE NAVI (PASSING SHIP) IN RIFERIMENTO ALLA POSIZIONE DELLE NAVI METANIERE	27
3.6.0	Premessa	27
3.6.1	Approccio Teorico.....	27
3.6.2	Configurazione riferita al transito della nave CMA – CGM – TOSCA	30
3.6.3	Configurazione riferita al transito della nave Hamburg Express	31
3.7	STUDIO DELLO SCENARIO DI FLASH FIRE DURANTE IL PASSAGGIO DELLE NAVI	32
3.7.1	Considerazioni generali	32
3.7.2	Scenari di calcolo.....	36
3.7.3	Simulazioni di calcolo	39
4	CONCLUSIONI.....	40



1 PREMESSA

L'intervento in oggetto ha come obiettivo quello di realizzare un terminal per il GNL (Gas Naturale Liquefatto) nel Porto Canale di Cagliari. L'impianto è stato localizzato in un'area che intercetta il tracciato delle reti di trasporto del gas GPL (Gas Petrolio Liquefatto) esistenti a servizio dell'area vasta di Cagliari, ed in prossimità della dorsale Sarroch/Oristano/Porto Torres dell'ipotetico futuro metanodotto. L'obiettivo principale è quello di garantire agli utenti civili e industriali della Sardegna la possibilità di utilizzare il gas metano come fonte energetica alternativa a quelle già presenti nell'isola.

Il Terminal sarà caratterizzato da una struttura in banchina per la connessione e lo scarico del GNL dalle navi metaniere, un complesso di tubazioni criogeniche per il trasporto del fluido nella zona impianto, un sistema di stoccaggio, pompaggio, e rigassificazione del GNL.

Nel Terminal saranno installati 18 serbatoi criogenici, 9 gruppi di pompaggio, 40 vaporizzatori ad aria ambiente (AAV) e una stazione per il filtraggio, la misura e l'odorizzazione del gas naturale propedeutica all'immissione nelle reti di trasporto. Attraverso le baie di carico per le autocisterne si potrà trasportare il GNL su gomma in tutta l'isola, o rifornire le navi, favorendo così l'attuazione delle direttive europee sull'utilizzo del GNL come combustibile per le imbarcazioni.

Il progetto proposto rientra nelle linee guida del Piano Energetico Ambientale della Regione Sardegna, ed in quelle dell'Accordo di Programma Quadro per la Metanizzazione della Sardegna. La scelta progettuale adottata è inoltre in piena sinergia con le direttive europee e nazionali, sulla realizzazione di infrastrutture per i combustibili alternativi (Direttiva 2014/94/UE e D.Lgs.257/2016).

Con il Terminal di ISGAS, il porto canale potrebbe diventare, senza ulteriori infrastrutturazioni, un polo nel mediterraneo per il rifornimento delle navi che utilizzano il GNL come carburante per il trasporto marittimo. Le infrastrutture sono infatti progettate per creare un efficiente "*Bunkering Point*" (ship to ship, truck to ship, o pipe to ship).

A tal proposito si ricorda che il porto di Cagliari fa parte dei 14 porti italiani "core" delle reti trans-europee di trasporto (Reti TEN-T) del Regolamento UE1315/2013, che dovranno a breve garantire la "*disponibilità di combustibili puliti alternativi*".

Il proponente del progetto è la ISGAS Energit Multiutilities S.p.A., società Concessionaria, in regime di esclusiva, del servizio di distribuzione del gas nei comuni di Cagliari, Oristano e Nuoro. Attualmente ha oltre 21.000 utenti attivi. ISGAS si occupa della distribuzione e vendita dell'aria propanata (integralmente sostituibile con il metano) attraverso reti canalizzate nei vari territori comunali.

Il Terminal è stato progettato per essere un importante punto di "*Entry*" nel sistema dei metanodotti della Sardegna, attualmente in fase di progettazione. Tuttavia il Terminal GNL potrà svolgere a pieno le sue funzioni anche collegandosi alla rete di trasporto del gas già esistente a servizio dell'area vasta di Cagliari.



Il presente studio comprende le seguenti relazioni:

- Relazione n° 1: studio di manovrabilità e navigabilità portuale
- Relazione n° 2: studio esecutivo di ormeggio
- Allegati: sistemi di ormeggio (Doc. D_03_PL_29_LON_R00 e D_03_PL_30_LON_R00).

La relazione, inizialmente consegnata (doc. D_01_ES_13_SMN_R00) è stata qui' revisionata a seguito delle valutazioni e della richiesta di integrazione da parte della Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti – Capitaneria di Porto di Cagliari, M INF. CPCA. REGISTRO UFFICIALE U.0030106.21-07-2017 in cui si è richiesto l'approfondimento dei seguenti paragrafi:

Par. 3.6 "Passing ship";

Par. 3.7 "Studio dello scenario di flash-fire durante il passaggio delle navi";

Par. 4 "Conclusioni".

I paragrafi della relazione oggetto di modifica, e i nuovi paragrafi inseriti sono stati evidenziati con righe verticali nere poste lateralmente al testo.

La presente relazione contiene:

- 1: Premessa con caratteristiche dell'intervento in oggetto
- 2: Inquadramento meteo marino del paraggio, con riferimento ai seguenti argomenti:
 - Considerazioni generali
 - Vento
 - Moto ondoso
 - Livello del mare
 - Correnti
- 3: Studio delle rotte di accesso e delle aree di manovra, con riferimento ai seguenti argomenti:
 - Considerazioni generali
 - Navi di riferimento
 - Caratteristiche dei fondali
 - Rotte di accesso e canali di manovra
 - Aree di evoluzione
 - Scenari di transito delle navi (Passing Ship) in riferimento alla posizione delle navi metaniere
 - Scenari di rischio per il rilascio di LNG (Flash Fire)
- 4: Conclusioni.



2 INQUADRAMENTO METEO MARINO DEL PARAGGIO

2.1 Considerazioni generali

Le informazioni illustrate nel presente paragrafo sono tratte dai seguenti studi gentilmente forniti dall'Autorità Portuale di Cagliari:

- Studi Idrodinamici del PRG del dicembre 2006;
- Studio meteo marino e studio di agitazione interna portuale per il banchinamento dell'avamposto ovest per navi RO-RO del porto canale del dicembre 2012;
- Studio della penetrazione del moto ondoso e della circolazione idrica per il banchinamento dell'avamposto est – distretto cantieristica del dicembre 2014;
- Rilievo batimetrico del Porto Canale del Febbraio 2009
- Carta Nautica del Porto Canale del 1940

Il porto di Cagliari si colloca nella zona mediana dell'omonimo golfo (detto anche golfo degli Angeli) che costituisce il margine meridionale della Sardegna e si affaccia sul margine occidentale del Canale di Sicilia ad una distanza minima di circa 200 km dalla costa africana.

Nel Mar Mediterraneo le perturbazioni cicloniche hanno estensioni massime dell'ordine dei 500 km, i fetch geografici che riguardano il Canale di Sicilia a Sud Est ed il Mar Tirreno ad Est sono stati limitati a tale dimensione.

Dagli studi suesposti (paragrafo 1.0), risulta che il fetch efficace si rappresenta nella seguente figura:

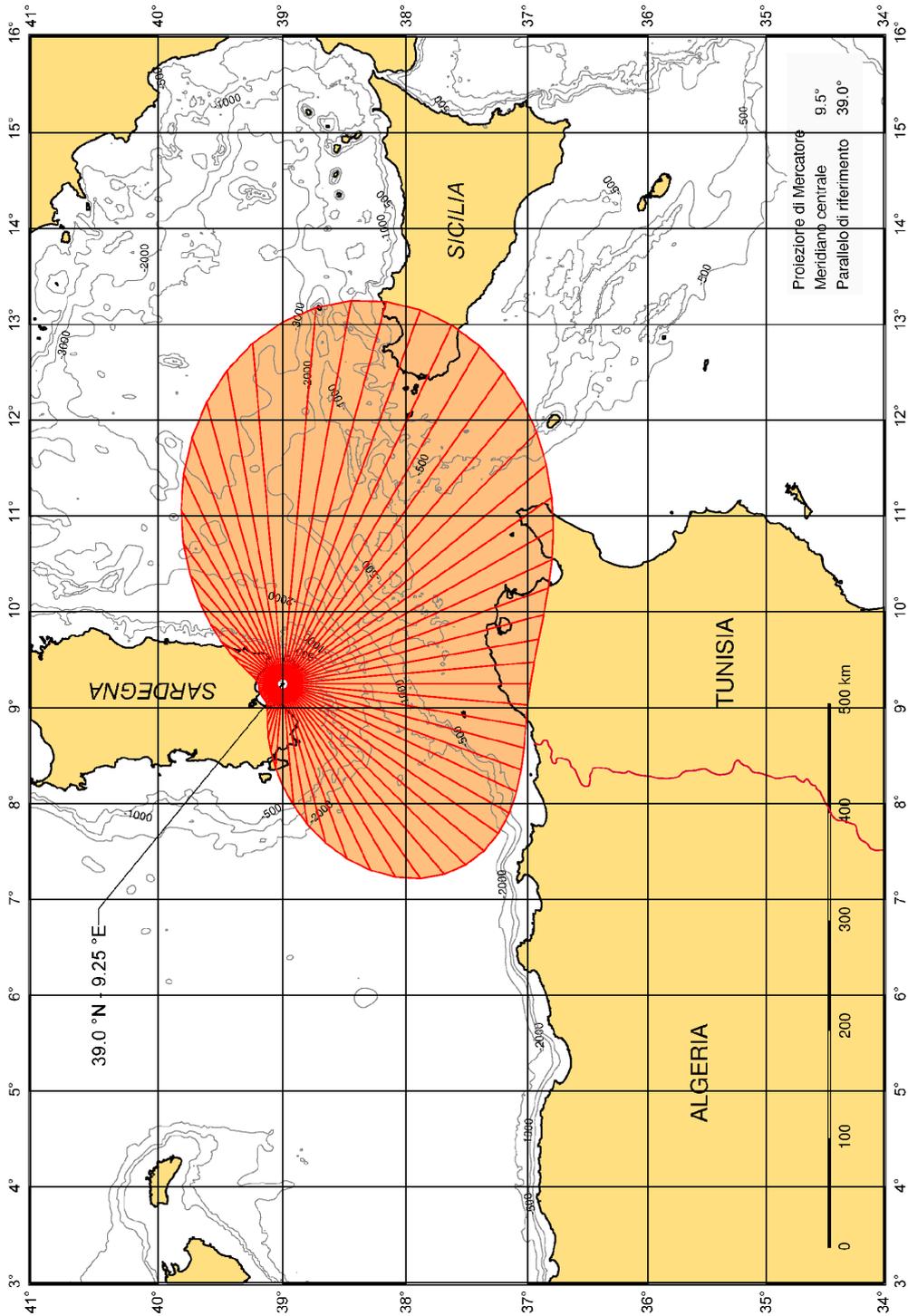


Figura 1: Fetch efficace Porto di Cagliari

La seguente figura mostra analiticamente e direzioni di provenienza associate ai fetch efficaci:

Direzione provenienza	Fetch geografico	Fetch efficace	Deviazione vento/mare	Direzione provenienza	Fetch geografico	Fetch efficace	Deviazione vento/mare
[°Nord]	[km]	[km]	[gradi]	[°Nord]	[km]	[km]	[gradi]
0	24.6	22.2	53.0	180	198.8	225.5	-19.0
10	24.5	25.2	49.0	190	230.9	224.6	7.0
20	23.3	34.4	44.0	200	246.9	230.9	6.0
30	22.2	53.9	40.0	210	260.2	238.1	3.0
40	20.8	86.3	35.0	220	278.6	239.0	-2.0
50	21.6	131.3	30.0	230	334.9	228.6	-7.0
60	25.9	185.0	25.0	240	471.4	205.1	-12.0
70	500.0	241.2	20.0	250	34.0	171.1	-18.0
80	500.0	292.6	15.0	260	24.4	131.9	-23.0
90	500.0	332.9	10.0	270	19.5	93.9	-29.0
100	500.0	357.9	5.0	280	19.2	62.5	-34.0
110	310.0	366.0	0.0	290	19.1	40.6	-39.0
120	500.0	358.8	-5.0	300	23.6	28.4	-44.0
130	500.0	339.7	-9.0	310	26.4	23.2	-49.0
140	500.0	313.2	-13.0	320	27.2	22.0	-53.0
150	268.1	284.2	-16.0	330	27.8	22.0	-56.0
160	206.2	257.3	-19.0	340	22.1	22.0	59.0
170	190.9	236.6	-20.0	350	25.6	21.8	56.0

Figura 2: Fetch efficace Porto di Cagliari

Si noti che il fetch efficace massimo (oltre 350 km) è quello di Scirocco, che presenta una direzione media di provenienza pari a 110°N.

Di seguito s'illustrano i parametri meteo climatici essenziali del paraggio.

2.2 Vento

Nel seguito si mostrano i diagrammi delle rose dei venti relativi ad un punto sito a largo del porto (dati BMT ARGOSS) e la stazione mareografica del porto (tratti dagli studi suesposti - paragrafo 1.0):

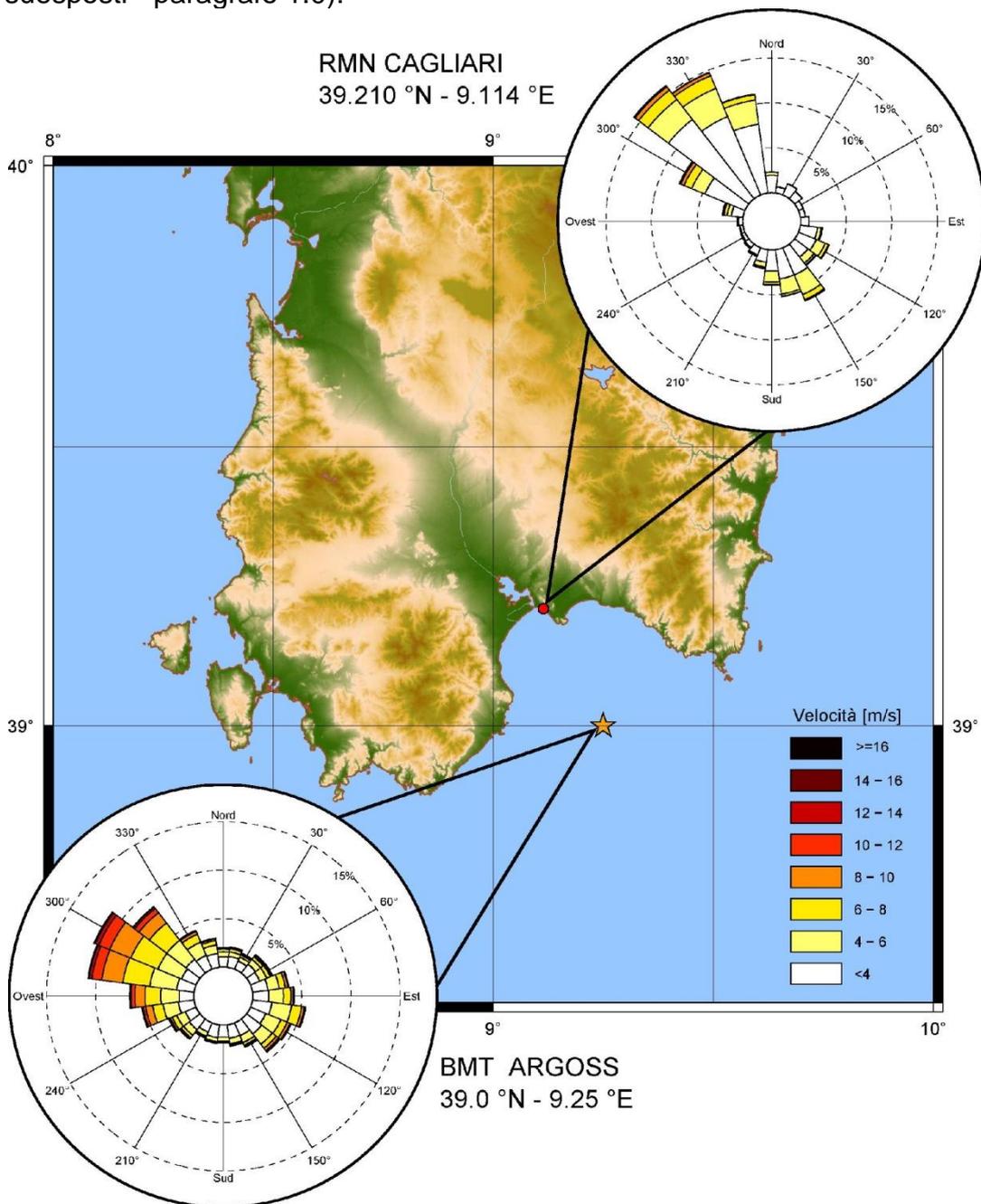


Figura 3: Regime anemometrico del Porto di Cagliari

2.3 Moto ondoso

Nel seguito si mostra la tabella degli eventi di moto ondoso sottocosta, tratta dagli studi suesposti, e riferita alla rada del Porto Canale di Cagliari:

SETTORE DI TRAVERSIA 100 °N - 170 °N						SETTORE DI TRAVERSIA 190 °N - 260 °N					
TR = 5 ANNI			Sottocosta P1			TR = 5 ANNI			Sottocosta P1		
H _s (m)	T _p (s)	Dir (°N)	H _s ' (m)	T _p ' (s)	Dir' (°N)	H _s (m)	T _p (s)	Dir (°N)	H _s ' (m)	T _p ' (s)	Dir' (°N)
4.1	8.4	110	3.4	9.8	125	3.3	10.7	190	2.8	11.4	170
4.1	8.4	130	3.7	8.5	135	3.3	10.7	220	2.3	8.5	180
4.1	8.4	150	3.8	8.5	150	3.3	10.7	250	1.44	8.5	192
4.1	8.4	170	3.7	8.5	163						
TR = 25 ANNI						TR = 25 ANNI					
4.9	9.0	110	4.0	9.8	124	3.8	11.3	190	3.2	11.4	168
4.9	9.0	130	4.4	9.8	135	3.8	11.3	220	2.6	11.4	180
4.9	9.0	150	4.5	9.8	147	3.8	11.3	250	1.6	8.5	190
4.9	9.0	170	4.4	9.8	161						
TR = 50 ANNI						TR = 50 ANNI					
5.3	9.2	110	4.4	9.8	124	4.00	11.6	190	3.3	13.2	167
5.3	9.2	130	4.7	9.8	135	4.00	11.6	220	2.7	11.4	179
5.3	9.2	150	4.8	9.8	148	4.00	11.6	250	1.6	8.5	190
5.3	9.2	170	4.8	9.8	161						

Figura 4: Altezze d'onda significative del Porto di Cagliari

Si noti che le direzioni di provenienza più significative sono Libeccio e Scirocco.

Si noti inoltre quanto segue:

- Il regime di moto ondoso nella rada del porto canale di Cagliari si sviluppa da un settore di traversia compreso tra 100° e 210° Nord; si osserva un'alternanza di stati di mare provenienti dal settore di SudEst ed, in misura minore, da SudOvest.
- Il clima di moto ondoso è contraddistinto da una prevalenza di stati di moto ondoso di altezza significativa compresa tra 0.5 m e 1.5 m che rappresentano il 36.3% del totale degli stati di mare ottenuti. Considerando inoltre che per circa il 60% dell'anno si rilevano stati di calma si può concludere che complessivamente il clima di moto ondoso nella rada di Cagliari risulta moderato.
- Gli stati di mare più intensi, con altezze d'onda superiori a 3.0 m, si presentano esclusivamente da scirocco con un frequenza di circa 11 ore/anno.
- In prevalenza gli stati di mare provenienti dal settore di scirocco sono contraddistinti da altezze d'onda maggiori e periodo di picco più elevato mentre gli stati di mare provenienti da libeccio risultano molto attenuati e non presentano valori di periodo superiori a 10 s.



2.4 Livello del mare

In base ai riferimenti esposti, l'innalzamento massimo del livello marino, al netto delle variazioni a lungo termine è pari a -0.38 m

2.5 Correnti

In base ai riferimenti esposti (paragrafo 1.2), la velocità media delle correnti in superficie è piuttosto modesta, circa 5 cm/s, con punte massime comunque inferiori a 50 cm/s. La conformazione batigrafica del sito in esame, associata alla limitata escursione dei livelli di marea astronomica, lascia prevedere valori trascurabili delle possibili correnti di marea.

3 STUDIO DELLE ROTTE DI ACCESSO E DELLE AREE DI MANOVRA

3.1 Considerazioni generali

Al fine di garantire condizioni adeguate al transito ed alla manovra delle navi gasiere all'interno del Porto Canale di Cagliari, è stata condotta una verifica degli spazi e delle profondità disponibili all'interno del Porto stesso, sia lungo la rotta di accesso e sia nell'area di evoluzione.

La verifica è stata condotta, con riferimento alle seguenti indicazioni normative:

- Linee Guida SIGTTO: Site Selection and Design for LNG Ports and Jetties – SIGTTO Information Paper No. 14) (SIGTTO, 2007);
- HARBOUR APPROACH CHANNELS DESIGN GUIDELINES, PIANC REP. NO. 121 (2014).

Da rilevare che Linee Guida SIGTTO forniscono indicazioni di massima in merito sia agli spazi necessari sia alle misure e modalità operative da adottare all'interno dei porti al fine di consentire lo svolgimento delle operazioni di accesso e manovra.

Si è quindi proceduto ad effettuare un calcolo analitico seguendo la recente pubblicazione del PIANC (2014).

Le verifiche sono state condotte come segue:

- Paragrafo 3.3: Caratteristiche dei fondali, con espresso riferimento alla profondità degli stessi;
- Paragrafo 3.4: Rotte di accesso e canali di manovra, con espresso riferimento alle dimensioni dei canali lungo le rotte di accesso ed uscita;

- Paragrafo 3.5: Aree di evoluzione ampiezza, con espresso riferimento all'ampiezza del cerchio di evoluzione;
- Paragrafo 3.6: Scenari di transito delle navi (Passing Ship), in riferimento al passaggio delle navi davanti alla banchina ove sono posizionate le navi metaniere;
- Paragrafo 3.7: Scenario ipotetico ed improbabile di rischio (Flash Fire), dovuto al rilascio di LNG a seguito di rottura del braccio di carico della nave metaniera attraccata nella banchina in progetto.

3.2 Navi di riferimento

Nelle figure seguenti si mostrano le navi di riferimento per le quali sono stati effettuati i relativi calcoli:

Coral Methane



Figura 6-12: Mini LNG Coral Methane

Tabella 6-22: Coral Methane - dati principali

Data	Value	Unit
Capacità Nominale	7.400	m ³
Tipologia contenimento	Membrane	\
L _{OA}	117.800	m
L _{pp}	110.200	m
B	18.600	m
D	10.600	m
Dislocamento a Pieno Carico	10842	t
Dislocamento in Zavorra	7866	t
DWT	6018	t
T Pieno carico	7.1	m
T Zavorra	5.5	m
Area Laterale in Zavorra	1484	m ²
Area Laterale in Pieno Carico	1292	m ²
Area Frontale in Zavorra	411	m ²
Area Frontale in Pieno Carico	381	m ²
Rateo di scarico	900	m ³ /h
Manifold	In compliance with latest edition of OCIMF	\
Altezza manifold (quota dal ponte principale)	2.68	m
Distanza manifold da centro nave (proravia)	4.2	m
Numero di line di Ormeggio	16	\
MBL	42	t
Capacità dei verricelli	31	t

Figura 5: Coral Methane

Coral Energy



Figura 6-13: Mini LNG Coral Energy

Tabella 6-23: Coral Energy - dati principali

Data	Value	Unit
Capacità Nominale	15.600	m ³
Tipologia contenimento	Membrane	\
L _{OA}	154.950	m
L _{PP}	146.210	m
B	22.700	m
D	14.950	m
Dislocamento a Pieno Carico	19513	t
Dislocamento in Zavorra	11994	t
DWT	12344	t
T Pieno carico	8.2	m
T Zavorra	5.4	m
Area Laterale in Zavorra	2700	m ²
Area Laterale in Pieno Carico	2265	m ²
Area Frontale in Zavorra	626	m ²
Area Frontale in Pieno Carico	561	m ²
Capacità	15,600	m ³
Rateo di scarico	1,620	m ³ /h
Manifold	In compliance with latest edition of OCIMF	\
Altezza manifold (quota dal ponte principale)	2.00	m
Distanza manifold da centro nave (proravia)	6.0	m
Numero di line di Ormeaggio	14	\
MBL	58.9	t

Figura 6: Coral Energy

Pioneer Knutsen



Figura 6-14: Mini LNG Pioneer Knutsen

Tabella 6-24: Pioneer Knutsen - dati principali

Data	Value	Unit
Capacità Nominale	1.000	m ³
Tipologia contenimento	Membrane	\
L _{OA}	68.870	m
L _{PP}	63.400	m
B	11.800	m
D	5.500	m
Dislocamento a Pieno Carico	1938	t
Dislocamento in Zavorra	1721	t
DWT	817	t
T Pieno carico	3.6	m
T Zavorra	3.3	m
Area Laterale in Zavorra	2700	m ²
Area Laterale in Pieno Carico	2265	m ²
Area Frontale in Zavorra	626	m ²
Area Frontale in Pieno Carico	561	m ²
Rateo di scarico	200	m ³ /h
Manifold	In compliance with latest edition of OCIMF	\
Altezza manifold (quota dal ponte principale)	2.56	m
Distanza manifold da centro nave (proravia)	0.0	m
Numero di line di Ormeggio	10	\
MBL	30	t

Figura 7: Pioneer Knutsen

Si noti che il pescaggio varia a seconda delle condizioni di carico da 3,3 m a 3,6 m.

3.3 Caratteristiche dei fondali

Come mostrato nel paragrafo precedente le metaniere presentano pescaggi massimi inferiori ad 8,6 m, nelle condizioni più sfavorevoli di pieno carico e considerando anche le condizioni più sfavorevoli di marea.

La figura seguente mostra la planimetria del canale di accesso del porto (che presenta profondità superiori a 16 m, come risulta dal rilievo fornito dall'Autorità Portuale):

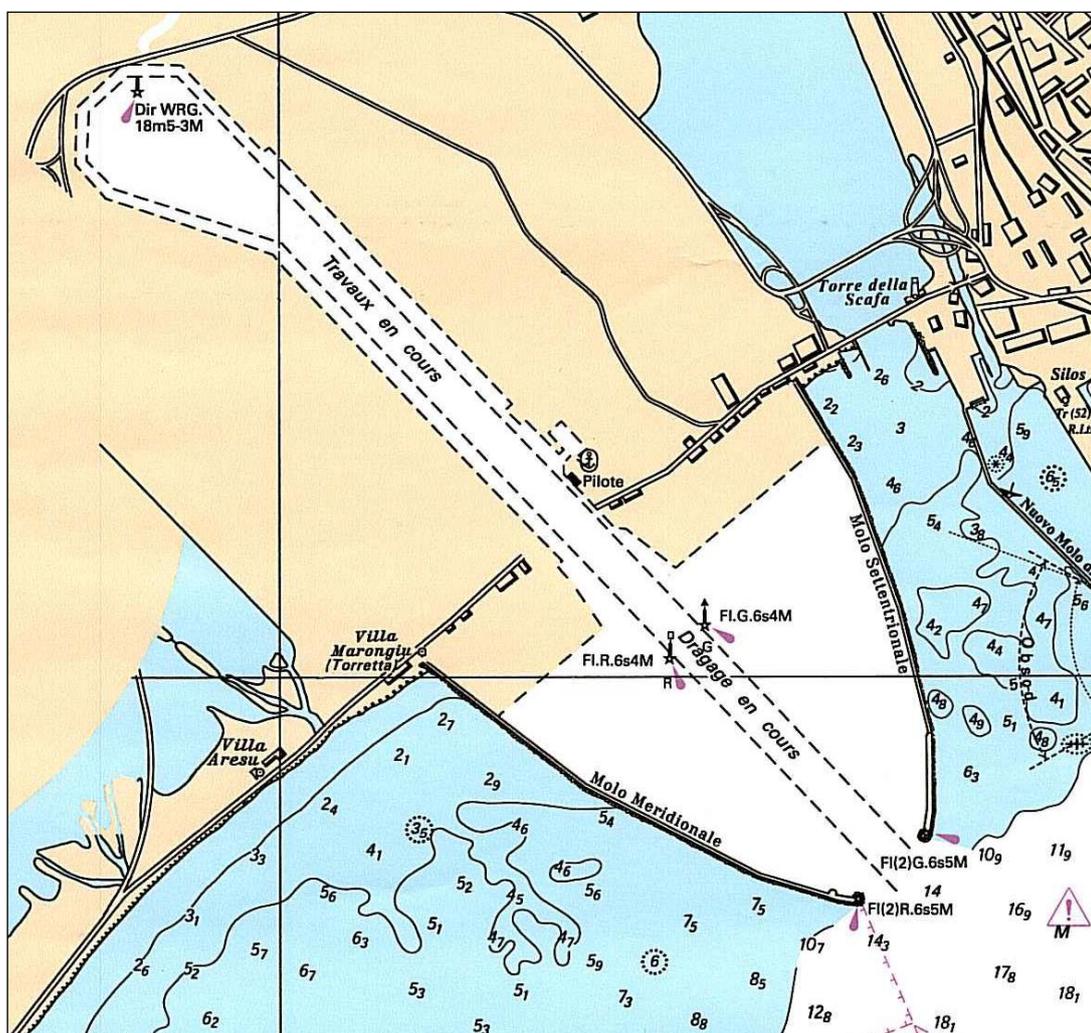


Figura 8: Canale di accesso al porto

Vista la differenza tra la profondità del canale di accesso (>16 m) ed il pescaggio delle navi a pieno carico ed in condizioni di marea, non si evidenziano problematiche di pescaggio lungo il canale di accesso (anche in condizioni locali di agitazione ondata



interna), come verrà evidenziato dalle apposite verifiche di calcolo mostrate nei paragrafi seguenti.

3.4 Rotte di accesso e canali di manovra

3.4.1 Verifica secondo le Linee Guida SIGTTO

La larghezza minima necessaria al transito delle navi gasiere lungo il canale di accesso, secondo le Linee Guida SIGTTO, deve essere circa 5 volte la larghezza della nave in transito.

La nave più larga delle navi di riferimento è la Coral Energy che presenta una capacità pari a 15,600 mc ed una larghezza di circa 25 m.

La larghezza minima necessaria al transito risulta dunque pari a 125 m.

Il canale di accesso al porto presenta dimensioni compatibili con la larghezza minima suesposta.

3.4.2 Verifiche secondo le linee guida AIPCN raccolte nella pubblicazione "Harbour Approach Channels Design Guidelines, Pianc rep. no. 121 (2014)"

Verifica della profondità minima dei fondali

In conformità alle succitate linee guida si identificano i seguenti parametri:

- Profondità del fondale h ;
- Massima immersione della chiglia della nave T_{max} (al netto di specifici fattori di tolleranza da quantificare nel caso specifico);
- Tirante idrico UKC_{netto}, "franco netto sotto chiglia" (net underkeel clearance).

Sulla base di tali considerazioni la profondità minima dei fondali nelle aree portuali necessaria a garantire la manovrabilità della nave di progetto in sicurezza è data dalla seguente relazione:

$$h_{min} - \Delta h_{marea} = T_{max} + UKC_{netto} + \Delta T_{navigazione}$$

dove:

Δh_{marea} : massimi "abbassamenti" del livello marino dovuti alla bassa marea di progetto;

T_{max} : massimo pescaggio della nave di progetto;

UKC_{netto}: franco netto sottochiglia



$\Delta T_{\text{navigazione}}$: incremento "statico" e "dinamico" del pescaggio dato dalla combinazione delle condizioni di esposizione dello scafo ai fattori meteomarini (vento, moto ondoso, correnti) e di "assetto" durante le varie fasi di manovra (ad esempio l'abbassamento di poppa, squat, per nave in navigazione).

In tale fattore sono quindi inclusi i contributi di:

- squat, compreso il corrispondente trim dinamico, Z_{squat} ;
- sbandamento dinamico dovuto al vento, Z_{wind} ;
- spostamenti per effetto dell'onda, Z_{wave} .

La somma del termine UK_{netto} con il termine $\Delta T_{\text{navigazione}}$ viene detta "*franco lordo sottochiglia*" (gross underkeel clearance) e rappresenta il tirante minimo richiesto sottochiglia al lordo di tutte le varie tolleranze sul pescaggio della nave.

Nelle fasi di avvicinamento, di manovra e di ormeggio all'interno del porto, le condizioni suddette devono essere rispettate per evitare eventuali fenomeni d'impatto incontrollato della chiglia della nave contro il fondale marino (incagliamento/arenamento), e per assicurare il rispetto dei requisiti minimi di manovrabilità dell'imbarcazione in "acque basse".

Livello del mare

In base alle considerazioni espresse ai paragrafi precedenti, l'innalzamento massimo del livello marino, al netto delle variazioni a lungo termine è pari a -0.38 m

Franco netto sottochiglia minimo

Il franco netto sottochiglia è un parametro riferito alle più sfavorevoli condizioni di manovrabilità della nave, nella navigazione all'interno dell'area portuale in condizioni di vento e di onda, ed è pari alla distanza minima tra la chiglia e il fondale di progetto, nelle suddette condizioni limite.

Si tratta dunque di un franco minimo di sicurezza (sotto chiglia), valutato in considerazione del massimo pescaggio della nave e considerando l'abbassamento del livello marino associato alla bassa marea di riferimento che dipende dalla natura del fondale (sabbioso o roccioso), dalle condizioni di manovra, e dal "danno" accettabile che si vuole ammettere per il rischio di incagliamento/arenamento dell'imbarcazione.

Nel presente progetto, in considerazione quanto riportato nel Rapporto 121-2014 del PIANC si assume nelle aree di manovra, per tutte le navi di progetto, un franco netto sotto chiglia UK_{netto} pari a 50 cm.

Squat

Lo squat è il fenomeno d'incremento costante del pescaggio della nave in navigazione, dovuto al flusso dell'acqua lungo lo scafo in movimento, che provoca una traslazione verso il basso ed una rotazione lungo l'asse trasversale della nave. La velocità relativa che si crea tra lo scafo in movimento e l'acqua circostante provoca una depressione del livello dell'acqua, all'interno della quale la nave affonda.

Lo squat dipende da:

- caratteristiche geometriche della nave;
- l'ingombro della nave correlato alla larghezza ed alla profondità dell'area di manovra;
- parametro F_{nh} , che mette in relazione la profondità dell'area di manovra con la velocità della nave.

La figura seguente mostra i parametri di riferimento per il calcolo dello squat:

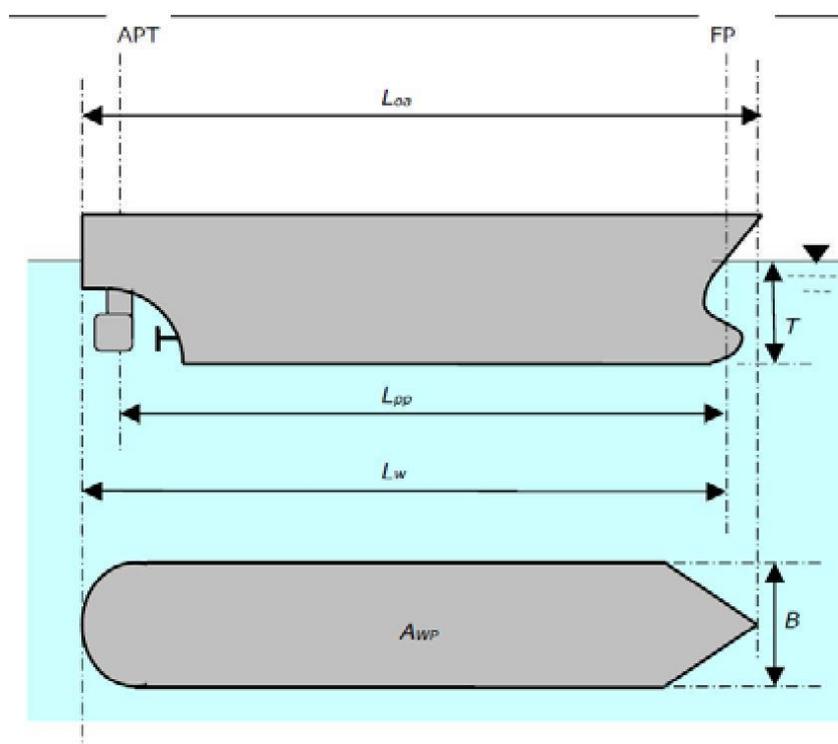


Figura 9: Squat – Parametri di riferimento

I parametri associati alle caratteristiche della nave che influenzano lo squat sono principalmente i seguenti:

- T: pescaggio della nave
- C_b : Block coefficient: coefficiente di blocco della nave, rappresentativo della forma dello scafo
- V_s : velocità della nave
- L_{pp} : lunghezza tra le perpendicolari
- B: massima larghezza della nave

In base ai riferimenti esposti, la velocità media delle correnti in superficie è piuttosto modesta, circa 5 cm/s, con punte massime comunque inferiori a 50 cm/s. La conformazione batigrafica del sito in esame, associata alla limitata escursione dei livelli di marea astronomica, lascia prevedere valori trascurabili delle possibili correnti di marea. Di conseguenza, nelle valutazioni seguenti, anche in base alla velocità della nave (valutata come la velocità relativa tra la nave e l'acqua) e date le basse velocità delle correnti, non sono stati considerati effetti dovuti alle correnti di marea.

I principali parametri caratteristici delle aree di manovra, per la valutazione dello squat, sono i seguenti:

- h/T : profondità relativa del fondale. Da rilevare che le aree di manovra ed i canali caratterizzati da un rapporto $h/T > 1.5$, possono essere assunti come profondi in relazione al pescaggio della nave, e quindi sicuri dal punto di vista dello squat.
- W/B : larghezza relativa del canale. In funzione di questo rapporto i canali vengono distinti in (vedi anche figura seguente): $W/B > W_{eff}$ unrestricted channel e $W/B < W_{eff}$ restricted channel. Il valore di W_{eff} viene ricavato dalle formulazioni contenute nella pubblicazione WG121 predetta.

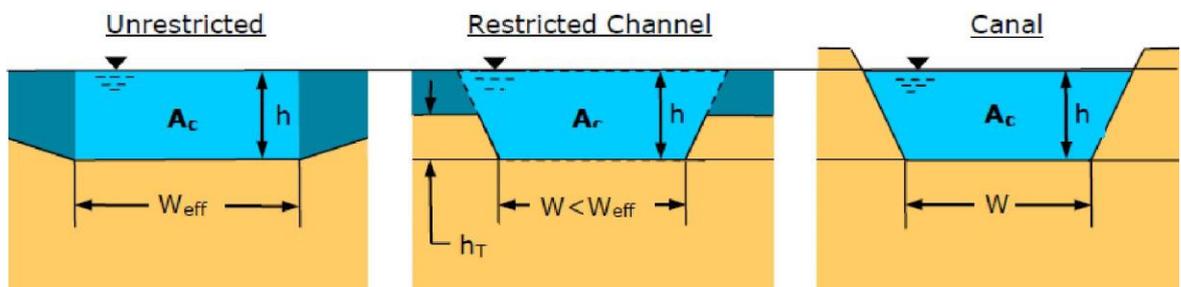


Figura 10: Squat – Aree di manovra

- F_{nh} , Froud Depth Number : pari a $F_{nh} = V / (gxh)^{0.5}$. Tale parametro rappresenta la resistenza idrodinamica al moto della nave in acque basse.



Sulla base di quanto sopra enunciato, le aree portuali per le quali la stima dello squat è importante ai fini della definizione dei fondali di progetto, sono quelle caratterizzate da fondali aventi profondità relativa $h/T < 1.5$ e in corrispondenza dei quali le navi abbiano velocità non nulle.

La verifica della stima dello squat si evidenzia di seguito:

- Come mostrato al paragrafo 3.2 le metaniere presentano pescaggi massimi inferiori ad 8,6 m, nelle condizioni più sfavorevoli di pieno carico e considerando anche le condizioni più sfavorevoli di marea;
- La profondità del canale di accesso è maggiore di 16 m;
- Il rapporto h/T risulta pari ad 1,88 e dunque risulta maggiore di 1.5.

Da rilevare che la profondità limite, per le navi metaniere in oggetto risulta al minimo pari ad $h/T = 12,9$ m (< 1.5), e risulta molto maggiore del suddetto valore calcolato per la profondità del canale (pari a 16m).

Lo squat risulta dunque trascurabile nelle condizioni progettuali assunte.

Sbandamento dinamico dovuto al vento

Lo sbandamento dinamico (heel) dovuto al vento che investe lateralmente la nave, provoca un'inclinazione della nave quasi statica (non oscillatoria).

Tale sbandamento provoca l'aumento del pescaggio della nave e dunque dipende da:

- larghezza della nave;
- superficie della nave esposta all'azione del vento.

Per la stima dello sbandamento dinamico dovuto al vento, delle navi in manovra all'interno dell'area portuale, si utilizza la seguente relazione del PIANC Report n°121 del 2014:

$$Z_{wind} = F_k \times (B/2 \times \sin \phi_w)$$

dove

F_k : fattore di chiglia che tiene conto della non trascurabile curvatura della chiglia. Si tenga in conto che i valori tipici di F_k variano tra 0,76 e 0,90. Nella presente relazione si assume $F_k = 0,85$;

ϕ_w : angolo di sbandamento della nave per effetto del vento, che in base alle suddette linee guida si assume pari ad 1° .

I risultati del calcolo del fattore di sbandamento per ogni nave di riferimento sono i seguenti:

- Coral Methan (B=18,6 m): ZWind = 0.14 m;
- Coral Energy (B=22,7 m): ZWind = 0.17 m;
- Pioneer Knutsen (B=11,8 m): ZWind = 0.09 m.

Movimenti verticali per effetto del moto ondoso

Si prendano in considerazione i sei gradi di libertà della nave mostrati di seguito (come indicato nelle figure seguenti):

- Movimento in avanti o indietro (surge)
- Traslazione trasversale (sway)
- Traslazione verticale (heave)
- Rotazione intorno ad un asse longitudinale (heel or roll)
- Rotazione intorno ad un asse trasversale (trim or pitch)
- Rotazione intorno ad un asse verticale (yaw)

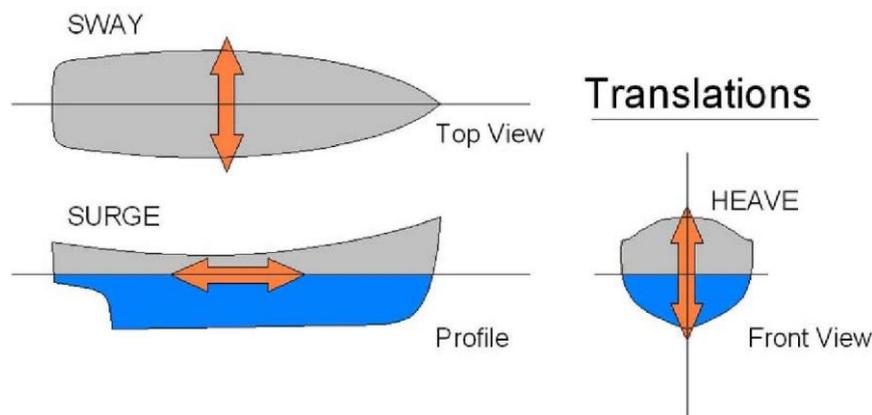


Figura 11: Movimenti della nave in traslazione

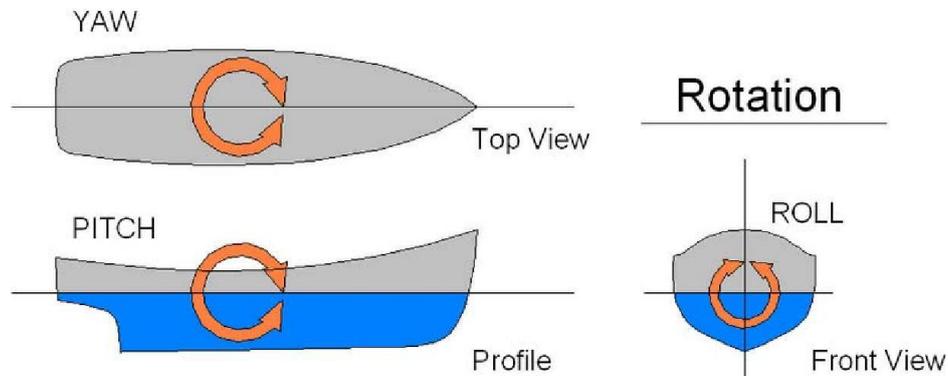


Figura 12: Movimenti della nave in rotazione

Nei calcoli seguenti, si tengono in considerazione i movimenti che influenzano direttamente il pescaggio della nave e che sono il rollio, il beccheggio e la traslazione verticale, come mostrato nella figura seguente:

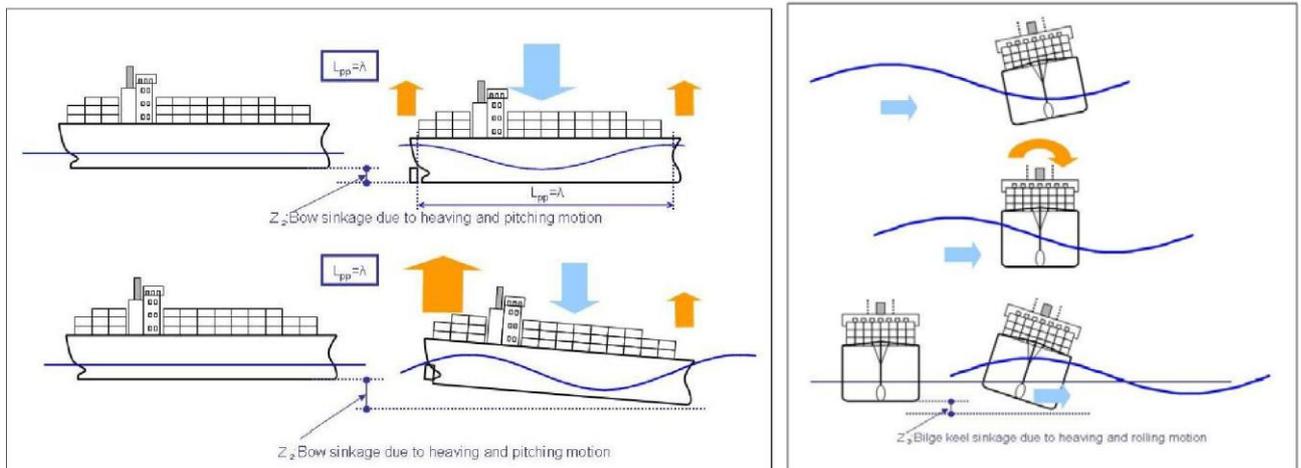


Figura 13: Movimenti della nave che influenzano il pescaggio

La nave in manovra soggetta all'azione del moto ondoso, subisce uno spostamento verticale. Il massimo spostamento verticale viene valutato facendo riferimento al metodo semiprobabilistico pubblicato nelle ROM 3.1 e presentato anche nel PIANC Report n°121 del 2014 (*"Harbour approach channels design guidelines"*).

Le assunzioni base di tale metodo sono mostrate di seguito;

- La nave allibata oltre il 90% del suo dislocamento;
- Nave ferma od in movimento ad una velocità molto ridotta, in modo che sia $F_{nh} = V/(gxh)^{0.5} < 0.05$;
- Profondità relativa $h/T < 1.5$;
- Angolo di incidenza dell'onda rispetto all'asse longitudinale della nave pari a 15°.

Il massimo spostamento verticale indotto dalle onde si calcola secondo la seguente formula:

$$Z_{wave} = H_s \times C_1 \times C_2 \times C_3 \times C_4 \times C_5 \times C_6$$

Dove:

- H_s è l'altezza d'onda ritenuta limite nell'area di manovra;
- Coefficiente C_1 , rappresentativo dell'altezza d'onda massima, definito con la formula mostrata nella figura seguente:

$$C_1 = 0.707 \sqrt{\ln\left(\frac{N_w}{\ln(1/(1-P_m))}\right)}$$

Ove:

- N_w è il numero di onde atteso durante la vita dell'opera, in corrispondenza dell'area di progetto e nel periodo comprendente le operazioni di arrivo e partenza;

- P_m è la probabilità di superamento dell'occorrenza della manovra critica.

Per la definizione della P_m si fa espresso riferimento alle indicazioni delle ROM

considerando che la probabilità accettabile che la manovra non riesca compresa tra 0,05 e 0,50;

Figura 14: Calcolo coefficiente C_1

- coefficiente C_2 che dipende da L_{pp} ed H_s definito in base alla tabella mostrata nella figura seguente:

L_{pp} (m)	Significant Wave Height, H_s (m)							
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
≤ 75	0.20	0.17	0.23	0.29	0.31	0.34	0.37	0.40
100	0.10	0.14	0.19	0.23	0.26	0.29	0.32	0.34
150	0	0.09	0.14	0.17	0.21	0.23	0.25	0.27
200	0	0.05	0.10	0.13	0.16	0.19	0.21	0.23
250	0	0.03	0.07	0.11	0.14	0.16	0.18	0.20
300	0	0	0.05	0.08	0.10	0.13	0.16	0.17
400	0	0	0.03	0.06	0.08	0.11	0.14	0.15

Figura 15: Calcolo coefficiente C_2

- coefficienti C3, C4, C5 e C6, che dipendono dalle condizioni di carico, dalla velocità della nave, dalla profondità dell'acqua e dall'angolo di incidenza delle onde, e sono definiti in base alla tabella mostrata nella figura seguente:

Symbol	Coefficient Name	Value	Condition
C ₃	Load Condition	1.00	Displacement ≥ 90%
		1.20	Displacement ≤ 50%
C ₄	Ship Speed	1.00	$F_{nh} \leq 0.05$
		1.25	$F_{nh} = 0.15$
		1.35	$F_{nh} \geq 0.25$
C ₅	Water Depth	1.00	$h/T \geq 1.50$
		1.10	$h/T \leq 1.05$
C ₆	Wave Incidence Angle	1.00	$\psi \leq 15 \text{ deg}$
		1.40	$\psi = 35 \text{ deg}$
		1.70	$\psi = 90 \text{ deg (Beam)}$

Figura 16: Calcolo coefficiente C3, C4, C5 e C6

La figura seguente mostra le risultanze del calcolo dei massimi spostamenti verticali Z_{wave} indotti dalle onde per le diverse navi di riferimento in corrispondenza del canale del porto:

Boat	Capacity	Vessel Name	Lpp	B	Draft T Boat	Tide	Draft T max	Bottom depth h	h/T	Velocity (3 Knots)	F _{nh}	Incident wave Angle	Hs limit	C1	C2	C3	C4	C5	C6	Z _{wave}	
[]	[mc]	[]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[]	[m/s]	[]	[°]	[m]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[m]
1	13.000	Coral Methan	110,2	18,6	7,1	0,38	7,48	16,00	2,14	1,54	0,12	30	1,3	2,9	0,13	1	1,25	1	1,4	0,86	
2	13.000	Coral Energy	146,1	22,7	8,2	0,38	8,58	16,00	1,86	1,54	0,12	30	1,3	2,9	0,1	1	1,25	1	1,4	0,66	
3	5.400	Pineer Knutsen	63,4	11,8	3,6	0,38	3,98	16,00	1,86	1,54	0,12	30	1,3	2,9	0,2	1	1,25	1	1,4	1,32	

Figura 17: Calcolo massimi spostamenti verticali

Si noti che nel calcolo del coefficiente C1, si è fatto riferimento ad una frequenza di spostamenti nel porto (in entrata ed uscita) pari ad 1 settimana.

Calcolo dei franchi lordi minimi e verifica dei fondali di progetto

Il calcolo dei vari fattori che concorrono alla definizione del franco lordo sotto-chiglia minimo è riassunto nella tabella seguente, dove si mostra che la verifica con il fondale minimo del canale di manovra risulta positiva:

Boat	Capacity	Vessel Name	Lpp	B	Draft T Boat	Tide	Draft T max	Bottom depth h	UKC netto min.	Z _{wind}	Z _{wiave}	Squat	UKC netto min.	Fondale minimo	Verifica
[]	[mc]	[]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[]
1	13.000	Coral Methan	110,2	18,6	7,1	0,38	7,48	16,00	0,50	0,14	0,01	0	1,3	8,93	OK
2	13.000	Coral Energy	146,1	22,7	8,2	0,38	8,58	16,00	0,50	0,17	0,01	0	1,3	10,06	OK
3	5.400	Pineer Knutsen	63,4	11,8	3,6	0,38	3,98	16,00	0,50	0,09	0,01	0	1,3	5,38	OK

Figura 18: Calcolo dei franchi lordi minimi e verifica dei fondali di progetto

Si noti che il fondale minimo necessario è poco sopra i 10 m, e dunque il canale di accesso risulta verificato (poiché presenta una profondità media di 16 m).

Verifica della larghezza del canale

La verifica si esegue in base alla succitata pubblicazione del PIANC (HARBOUR APPROACH CHANNELS DESIGN GUIDELINES, PIANC REP. NO. 121 (2014)), supponendo un transito a due sensi di marcia e tenendo comunque, che le norme SIGGTTO prescrivono una larghezza massima per ogni transito pari a 125 m (in considerazione dalla massima larghezza delle navi di progetto, corrispondente alla Coral Energy).

La larghezza del fondo del canale in caso di circolazione a doppio senso è data dalla seguente espressione:

and for a two-way channel by:

$$W = 2W_{BM} + 2\sum W_i + W_{BR} + W_{BG} + \sum W_p \quad (3-4)$$

where:

W_{BM} = width of basic manoeuvring lane as a multiple of the design ship's beam B , given in Table 3.4

$\sum W_i$ = additional widths to allow for the effects of wind, current etc, given in Table 3.5

W_{BR} , W_{BG} = bank clearance on the 'red' and 'green' sides of the channel, given in Table 3.6

$\sum W_p$ = passing distance, comprising the sum of a separation distance between both manoeuvring lanes W_M (see Figure 3.2) and an additional distance for traffic density, given in Table 3.7.

Figura 19: Verifica larghezza canale di accesso a doppio senso di Marcia

Nella quale si identificano i seguenti termini:

- w_{BM} = larghezza minima di manovra;
- w_i = incremento di larghezza per canali rettilinei determinato da fattori ambientali e condizioni di navigazione;
- w_{Br} , w_{Bg} = incrementi di larghezza che tengono conto del "bank effect";
- w_p = incremento di larghezza per canali a doppio senso di circolazione.

La figura seguente illustra lo schema di calcolo della formulazione impiegata:

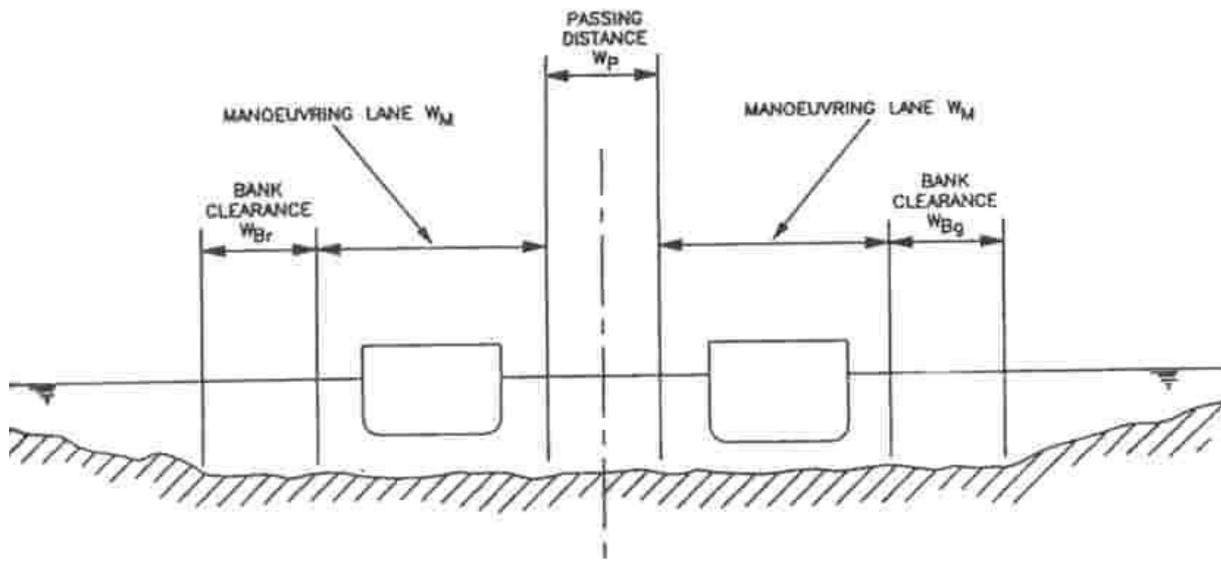


Figura 20: Verifica larghezza canale di accesso

I termini indicati nell'espressione di cui alla figura precedente si individuano a favore della sicurezza sulla base delle figure seguenti:

Ship Manoeuvrability	Good	Moderate	Poor
Basic Manoeuvring Lane, W_{BM}	1.3 B	1.5 B	1.8 B

Table 3.4: Basic manoeuvring lane W_{BM}

Incremento di larghezza dovuto alle modalità di manovrabilità della nave: Nel caso presente si impone un incremento pari ad 1,5 B (Moderate)



Width for bank clearance (W_{BR} and/or W_{BG})	Vessel Speed	Outer channel (open water)	Inner channel (protected water)
Gentle underwater channel slope (1:10 or less steep)	fast moderate slow	0.2 B 0.1 B 0.0 B	0.2 B 0.1 B 0.0 B
Sloping channel edges and shoals	fast moderate slow	0.7 B 0.5 B 0.3 B	0.7 B 0.5 B 0.3 B
Steep and hard embankments, structures	fast moderate slow	1.3 B 1.0 B 0.5 B	1.3 B 1.0 B 0.5 B

Note:
1. W_{BR} and W_{BG} are widths on 'red' and 'green' sides of channel

Incremento di larghezza per canali rettilinei dovuto a fattori meteomarini, ambientali e dalle condizioni di navigazione. Nel caso presente si impone un incremento pari a 0,2 B (inner channel, width bank clearance).

Table 3.6: Additional width for bank clearance W_{BR} and W_{BG}

Width W_i	Vessel Speed	Outer Channel (open water)	Inner Channel (protected water)
(a) Vessel speed V_s (kts, with respect to the water) $V_s \geq 12$ kts 8 kts $\leq V_s < 12$ kts 5 kts $\leq V_s < 8$ kts	fast mod slow		0.1 B 0.0 0.0
(b) Prevailing cross wind V_{cw} (kts) - mild $V_{cw} < 15$ kts ($<$ Beaufort 4) - moderate 15 kts $\leq V_{cw} < 33$ kts (Beaufort 4 - Beaufort 7) - strong 33 kts $\leq V_{cw} < 48$ kts (Beaufort 7 - Beaufort 9)	fast mod slow fast mod slow fast mod slow		0.1 B 0.2 B 0.3 B 0.3 B 0.4 B 0.6 B 0.5 B 0.7 B 1.1 B
(c) Prevailing cross-current V_{cc} (kts) - negligible $V_{cc} < 0.2$ kts - low 0.2 kts $\leq V_{cc} < 0.5$ kts - moderate 0.5 kts $\leq V_{cc} < 1.5$ kts - strong 1.5 kts $\leq V_{cc} < 2.0$ kts	all fast mod slow fast mod slow fast mod slow	0.0 0.2 B 0.25 B 0.3 B 0.5 B 0.7 B 1.0 B 1.0 B 1.2 B 1.6 B	0.0 0.1 B 0.2 B 0.3 B 0.4 B 0.6 B 0.8 B -
(d) Prevailing longitudinal current V_{lc} (kts) - low $V_{lc} < 1.5$ kts - moderate 1.5 kts $\leq V_{lc} < 3$ kts - strong $V_{lc} \geq 3$ kts	all fast mod slow fast mod slow		0.0 0.0 0.1 B 0.2 B 0.1 B 0.2 B 0.4 B
(e) Beam and stern quartering wave height H_s (m) - $H_s \leq 1$ m - $1 \text{ m} < H_s < 3$ m - $H_s \geq 3$ m	all all all	0.0 -0.5 B -1.0 B	0.0 - -
(f) Aids to Navigation (AtoN) - excellent - good - moderate			0.0 0.2B 0.4 B
(g) Bottom surface - if depth $h \geq 1.5 T$ - if depth $h < 1.5 T$ then - smooth and soft - rough and hard			0.0 0.1 B 0.2 B
(h) Depth of waterway h		$h \geq 1.5 T$ 0.0 B $1.5 T > h \geq 1.25 T$ 0.1 B $h < 1.25 T$ 0.2 B	$h \geq 1.5 T$ 0.0 B $1.5 T > h \geq 1.15 T$ 0.2 B $h < 1.15 T$ 0.4 B
(i) High cargo hazards		See explanation in box(j) overleaf	

Table 3.5: Additional widths W_i for straight channel sections

Incremento di larghezza per canali rettilinei dovuto a fattori meteomarini, ambientali e dalle condizioni di navigazione. Nel caso presente si impongono i seguenti incrementi di larghezza:

- Velocità nave < 12 nodi $\rightarrow 0,0$ B;
- Velocità vento trasversale > 48 nodi $\rightarrow 1,1$ B;
- Velocità corr. Trasversale = moderate $\rightarrow 1,0$ B;
- Velocità corr. Long. = moderate $\rightarrow 0,2$ B;
- Altezza d'onda signif. $H_s < 1$ m $\rightarrow 0,0$ B;
- Condizioni di nav. Good $\rightarrow 0,2$ B;
- Prof. Canale $h \geq 1,5 T \rightarrow 0,0$ B;
- Prof. Carico $h \geq 1,5 T \rightarrow 0,0$ B.
- Pericolosità carico high $\rightarrow 1,0$ B.

Figura 21: Definizione coefficiente di calcolo – parte 1

<table border="1"> <thead> <tr> <th>CATEGORY</th> <th>CARGO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Low</td> <td>Dry bulk, break bulk, containers, passengers, general freight, trailer freight</td> </tr> <tr> <td>Medium</td> <td>Oil in bulk</td> </tr> <tr> <td>High</td> <td>Aviation spirit, LPG, LNG, chemicals of all classes</td> </tr> </tbody> </table>	CATEGORY	CARGO	Low	Dry bulk, break bulk, containers, passengers, general freight, trailer freight	Medium	Oil in bulk	High	Aviation spirit, LPG, LNG, chemicals of all classes	<p>Classificazione della pericolosità di carico: Low.</p>																
CATEGORY	CARGO																								
Low	Dry bulk, break bulk, containers, passengers, general freight, trailer freight																								
Medium	Oil in bulk																								
High	Aviation spirit, LPG, LNG, chemicals of all classes																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>CATEGORY</th> <th>TRAFFIC DENSITY (vessel/hour)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Light</td> <td>0 - 1.0</td> </tr> <tr> <td>Moderate</td> <td>> 1.0 - 3.0</td> </tr> <tr> <td>Heavy</td> <td>> 3.0</td> </tr> </tbody> </table>	CATEGORY	TRAFFIC DENSITY (vessel/hour)	Light	0 - 1.0	Moderate	> 1.0 - 3.0	Heavy	> 3.0	<p>Densità di traffico: bassa → 0,0 B;</p>																
CATEGORY	TRAFFIC DENSITY (vessel/hour)																								
Light	0 - 1.0																								
Moderate	> 1.0 - 3.0																								
Heavy	> 3.0																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>WIDTH for BANK CLEARANCE (w_b, or w_{bp})</th> <th>Vessel Speed</th> <th>Outer Channel exposed to open water</th> <th>Inner Channel protected water</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">Sloping channel edges and shoals :</td> <td>fast</td> <td>0.7 B</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>moderate</td> <td>0.5 B</td> <td>0.5 B</td> </tr> <tr> <td>slow</td> <td>0.3 B</td> <td>0.3 B</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">Steep and hard embankments, structures :</td> <td>fast</td> <td>1.3 B</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>moderate</td> <td>1.0 B</td> <td>1.0 B</td> </tr> <tr> <td>slow</td> <td>0.5 B</td> <td>0.5 B</td> </tr> </tbody> </table>	WIDTH for BANK CLEARANCE (w_b , or w_{bp})	Vessel Speed	Outer Channel exposed to open water	Inner Channel protected water	Sloping channel edges and shoals :	fast	0.7 B	-	moderate	0.5 B	0.5 B	slow	0.3 B	0.3 B	Steep and hard embankments, structures :	fast	1.3 B	-	moderate	1.0 B	1.0 B	slow	0.5 B	0.5 B	<p>Incremento di larghezza nei canali dipendente dal bank clearance: velocità nave < 12 nodi → 0,5 B;</p>
WIDTH for BANK CLEARANCE (w_b , or w_{bp})	Vessel Speed	Outer Channel exposed to open water	Inner Channel protected water																						
Sloping channel edges and shoals :	fast	0.7 B	-																						
	moderate	0.5 B	0.5 B																						
	slow	0.3 B	0.3 B																						
Steep and hard embankments, structures :	fast	1.3 B	-																						
	moderate	1.0 B	1.0 B																						
	slow	0.5 B	0.5 B																						
<p>Note : Referring to the design ship : B = Beam L = Length T = Draught</p>																									

Figura 22: Definizioni coefficiente di calcolo – parte 2

Il calcolo dei vari fattori che concorrono alla definizione della larghezza di calcolo del canale di manovra, a doppio senso di marcia è riassunto nella tabella seguente, dove si mostra che la verifica risulta positiva:

VESSEL APPROACH CHANNEL WIDTH VERIFICATION																
N°1	Capacity	Vessel	Lane	B	Draft T Boat	Bottom depth h	h/T	Manovrability	W_{BM}	Bank Clearance	W_{BR}	W_{GR}	Passing distance	W_p	ΣW_i	W
[]	[mc]	[]	[]	[m]	[m]	[m]	[]	[]	[m]	[]	[m]	[m]	[]	[m]	[m]	[m]
1	13,000	Coral Methan	2	18.6	7.1	16.00	2.25	Good	24.18	Structure-slow-inner	3.72	3.72	Slow Spedd- Inner channel	18.6	65.1	204.6
2	13,000	Coral Energy	2	22.7	8.2	16.00	1.95	Good	29.51	Structure-slow-inner	4.54	4.54	Slow Spedd- Inner channel	22.7	79.45	249.7
3	5,400	Pineer Knutsen	2	11.8	3.6	16.00	4.44	Good	15.34	Structure-slow-inner	2.36	2.36	Slow Spedd- Inner channel	11.8	41.3	129.8

Figura 23: Calcolo di verifica della larghezza del canale di manovra



In conclusione:

- Per transiti ad un solo senso di marcia la larghezza massima applicabile è pari a 125 m (nel caso della nave metaniera Coral Energy);
- Per transiti a doppio senso di marcia le larghezze calcolate variano da circa 130 m a circa 200 m.

Ambedue le larghezze massime calcolate sono compatibili con il canale di accesso al porto.

3.5 Aree di evoluzione

La verifica degli spazi necessari a consentire la manovrabilità delle navi gasiere all'interno del porto è stata condotta con riferimento alle Linee Guida SIGTTO, all'interno delle quali si riporta la necessità di un diametro minimo del cerchio di evoluzione pari a circa 2-3 volte la lunghezza della nave. La verifica risulta positiva in quanto:

- La larghezza massima della nave di progetto risulta pari a 22,7 m;
- Il diametro minimo del cerchio di evoluzione risulta pari a circa 70 m (maggiore di 3 volte la larghezza massima delle navi di progetto), valore compatibile con le caratteristiche del porto.

3.6 Scenari di transito delle navi (Passing Ship) in riferimento alla posizione delle navi metaniere

3.6.0 Premessa

Gli scenari di Passing Ship si simulano in riferimento a due configurazioni:

- Configurazione riferita al transito della nave CMA – CGM – TOSCA;
- Configurazione riferita al transito della nave Hamburg Express;

Di seguito s'illustra al paragrafo seguente l'approccio teorico ed ai paragrafi successivi i risultati delle simulazioni.

3.6.1 Approccio Teorico

Il fenomeno della generazione di onde prodotte dal transito di natanti è trattato da numerose pubblicazioni presenti in letteratura [p.es Bollettino n°55 del PIANC, 1987] e gli approcci normalmente seguiti sono dei più diversi, e variano da approcci di tipo teorico ad approcci di tipo sperimentale.

Gli effetti idrodinamici che si determinano in un canale per effetto del passaggio di un'imbarcazione sono in sintesi i seguenti:

- La generazione di onde trasversale di poppa e di onde divergenti (che si distaccano dalla fiancata dell'imbarcazione);
- L'abbassamento del piano d'acqua che si colloca lungo i fianchi della nave in posizioni, rispetto alla sua mezzeria, che dipendono dalla velocità;
- La corrente di ritorno, che ha senso opposto a quello del moto della nave ed ha portata di valore tale da compensare il dislocamento della stessa.

La figura seguente mostra gli effetti ondosi generati dal transito della nave:

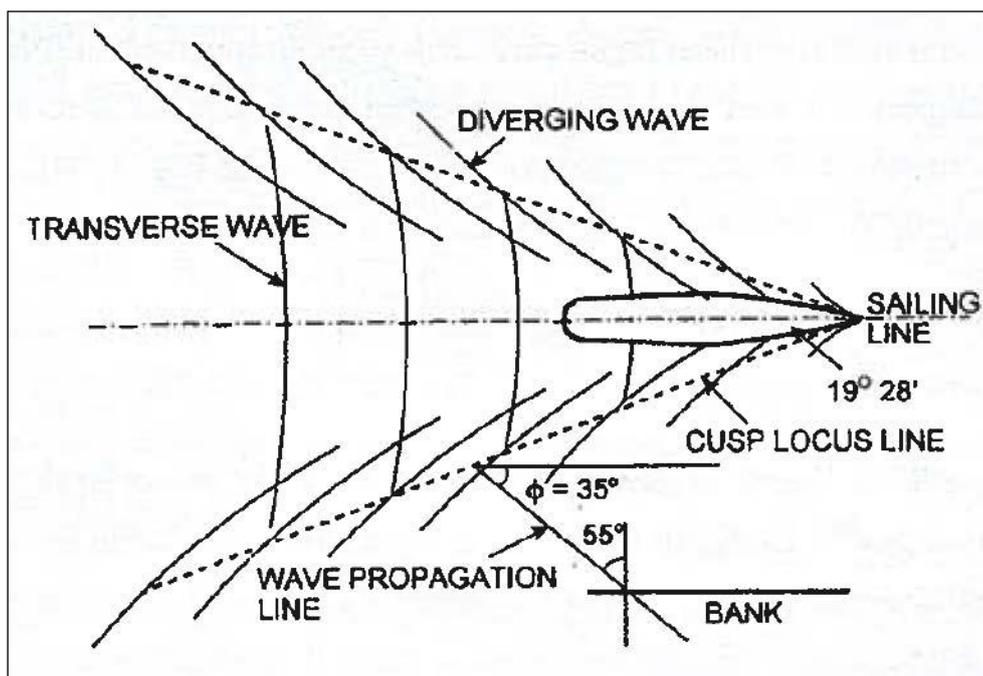


Figura 244: Effetti ondosi generate dal transito della nave

Il valore dell'altezza delle onde secondarie generate dal transito della nave, dipende principalmente dalle caratteristiche dell'imbarcazione, dalla profondità del fondale e dalla velocità di spostamento dell'imbarcazione. La sua valutazione teorica è comunque, in generale, caratterizzata da un certo grado di incertezza e di solito la si associa a valutazioni sperimentali (misure in campo, modelli fisici, ecc.).

Per stimare l'altezza massima dell'onda generata dal transito delle navi attraverso il canale del porto, si utilizza in questa sede, il seguente diagramma di Schijf [ref. PIANC, Permanent International Association of Navigation Congresses, 1987]:

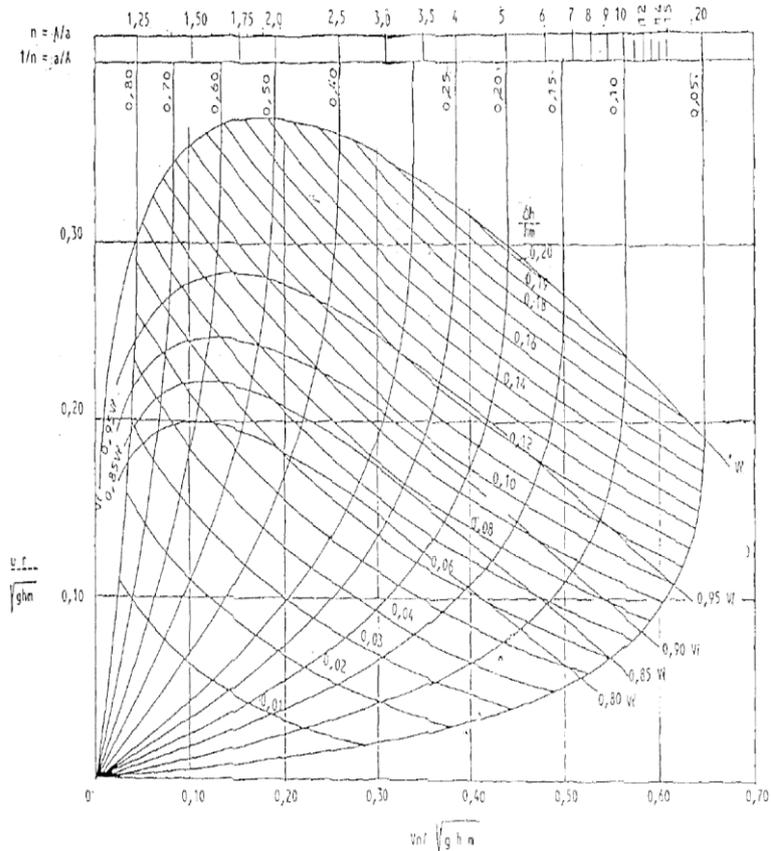


Diagramma di Schijf (modificato con coeff. di sicurezza 1,3)
valori del rapporto tra la velocità limite e la velocità critica $Vn / \sqrt{g h n}$
in funzione dell'indice di navigabilità $n = A/a$
Valori della velocità della corrente di ritorno $u.c.$ e dell'abbassamento
del piano d'acqua dh in funzione della velocità della nave Vn e
dell'indice di navigabilità.

Figura 25: Effetti ondosi generate dal transito della nave – diagramma di Schijf

3.6.2 Configurazione riferita al transito della nave CMA – CGM – TOSCA

Lo scenario viene simulato studiando gli effetti del passaggio di una nave porta container CMA – CGM – TOSCA di grandi dimensioni che attraversa il canale adiacente alla banchina con una frequenza di 20/25 volte al mese (i passaggi complessivi sono circa 60/65 al mese), ed ad una velocità pari a 6 nodi circa. La nave è indicata di seguito:



Figura 26: Effetti ondosi generate dal transito della nave

L'altezza d'onda generata dalla nave in transito CMA – CGM – TOSCA, nel porto in esame è stata valutata in riferimento alle seguenti dimensioni della nave:

- DWT: 101.818 t;
- Draft: 14,5 m;
- L.O.A pari a 334,07 m;
- B=42,8 m

In tali condizioni valutando i seguenti parametri:

- Rapporto tra sezione della nave e sezione del canale pari a circa 0,24;
- Profondità relativa del canale pari a 9.6 m circa;
- Velocità della nave pari a 6 nodi circa.
- L'altezza d'onda generata dalla nave in transito risulta pari ad 80 cm circa.

Le verifiche relative all'operatività della banchina sono mostrate nella relazione relativa allo studio esecutivo di ormeggio.

3.6.3 Configurazione riferita al transito della nave Hamburg Express

Lo scenario viene simulato studiando gli effetti del passaggio di una nave container Hamburger Express di grandi dimensioni che attraversa il canale adiacente alla banchina, ed ad una velocità pari a 6/10 nodi circa. La nave è indicata di seguito:

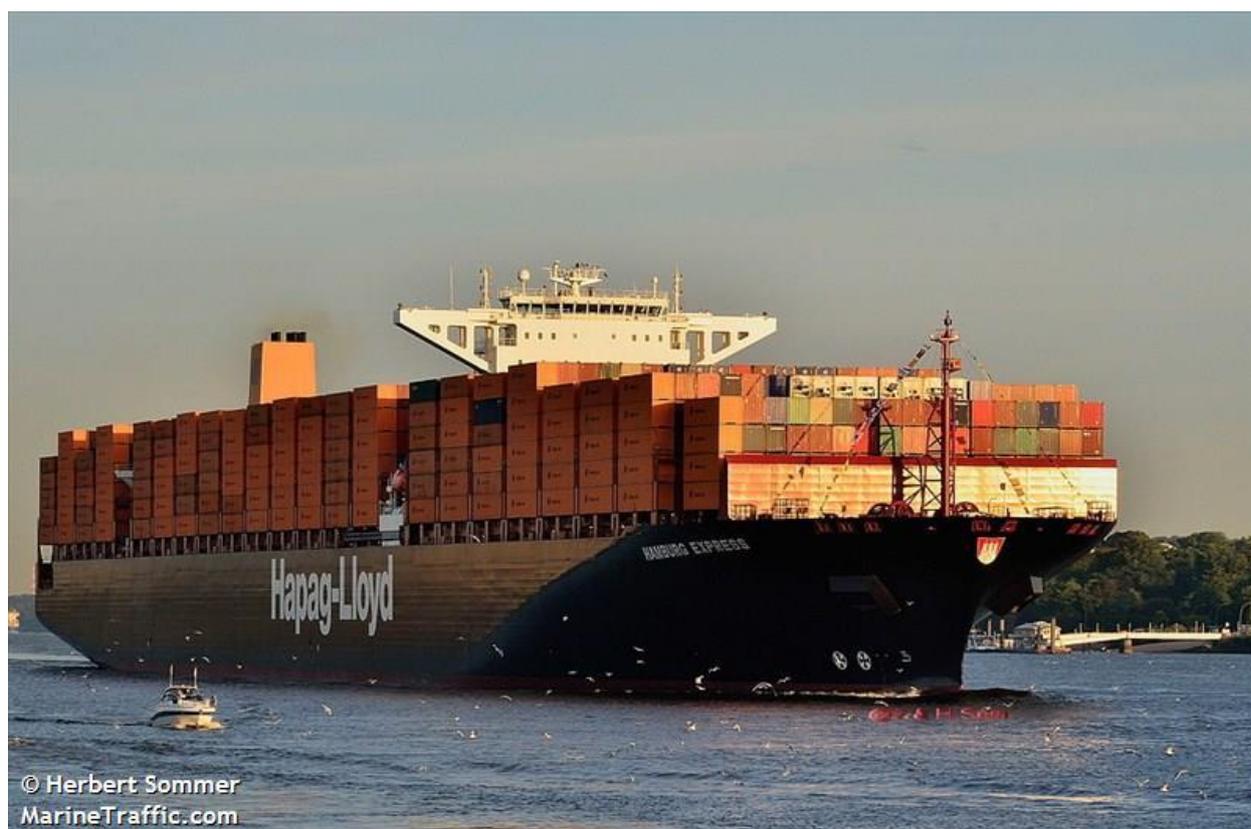


Figura 27: Effetti ondosi generate dal transito della nave

L'altezza d'onda generata dalla nave in transito HAMBURG ESPRESS, nel porto in esame è stata valutata in riferimento alle seguenti dimensioni della nave:

- DWT: 142.295 t;
- Draft: 15,5 m;
- L.O.A. pari a 366 m;
- B=48 m

In tali condizioni valutando i seguenti parametri:

Configurazione n°1:

- Rapporto tra sezione della nave e sezione del canale pari a circa 0,28;
- Profondità relativa del canale pari a 9.6 m circa;
- Velocità della nave pari a 6 nodi circa.
- L'altezza d'onda generata dalla nave in transito risulta pari a 100 cm circa.



In tali condizioni valutando i seguenti parametri:

Configurazione n°2:

- Rapporto tra sezione della nave e sezione del canale pari a circa 0,28;
- Profondità relativa del canale pari a 9.6 m circa;
- Velocità della nave pari a 10 nodi circa.
- L'altezza d'onda generata dalla nave in transito risulta pari a 150 cm circa. Tale valore risulta relativamente elevato in considerazione anche del fatto che la nave in tale scenario si troverebbe in condizioni di profondità relativa limitata, con rischio di sbandamento (sarebbe consigliabile una velocità di transito non superiore a 6 nodi).

Le verifiche relative all'operatività della banchina sono mostrate nella relazione relativa allo studio esecutivo di ormeggio.

3.7 Studio dello scenario di Flash Fire durante il passaggio delle navi

3.7.1 Considerazioni generali

Il rapporto preliminare di sicurezza (vedi sezione 7 di progetto), ha esaminato anche lo scenario che si potrebbe creare in caso di fuoriuscita o perdita accidentale di GNL da un braccio di carico, a seguito di un suo danneggiamento.

In relazione ai sistemi di sicurezza previsti il rilascio sarebbe comunque di breve durata e non superiore a 3 (tre) minuti.

Il verificarsi di tale perdita genera una nube di gas metano che è in grado di generare una fiammata istantanea o Flash Fire qualora abbia concentrazioni comprese fra il limite superiore di infiammabilità e quello inferiore (LFL) e trovi una fonte di innesco.

Cautelativamente nelle analisi di rischio si considera che il Flash Fire possa generarsi anche se la nube ha concentrazione pari a metà del LFL (LFL/2).

In caso il rilascio avvenga con le condizioni atmosferiche più sfavorevoli ovvero ci sia Classe di Stabilità Atmosferica "F – Molto Stabile" con una velocità del vento di 2 m/s (condizione tipica di ore notturne o presenza di nebbie e quindi improbabile nell'area in esame, la lunghezza della nube caratterizzata da una concentrazione pari al LFL (area di "elevata letalità") presenta un raggio massimo di 47,8 metri a partire dal punto di rilascio ovvero dal braccio di carico verso la direzione del vento, mentre la lunghezza della nube caratterizzata da una concentrazione pari al LFL/2 (area di "inizio letalità") presenta un raggio di 109,9 metri a partire dal punto di rilascio ovvero dal braccio di carico verso la direzione del vento.

In caso vi siano le condizioni atmosferiche più probabili, ovvero Classe di Stabilità Atmosferica "D – Neutrale" con una velocità del vento di 5 m/s (condizione caratteristica dell'area) le suddette lunghezze si limiterebbero a 23,2 e 39,6 m.

La figura 28 è stata estrapolata dal modulo 3 del Rapporto Preliminare di Sicurezza "Mappe delle conseguenze degli scenari incidentali credibili" (doc. D_07_RI_34_ADR_R00) e mostra il raggio massimo della nube nelle condizioni atmosferiche sfavorevoli (47,8 m del LFL e pari a 109,9 m del LFL/2) ed il tratto di canale adiacente alla banchina di progetto.

Tale rappresentazione (un cerchio di raggio pari alla lunghezza nube) rappresenta inoltre l'involuppo di tutte le direzioni del vento. In realtà la nube che si forma coprirà uno spicchio di tale cerchio, direzionato verso la direzione del vento.

Come visibile dalle figure seguenti ed in particolare dal "cross section" ovvero dalla sezione trasversale, l'ampiezza massima della nube di metano raggiunge circa 48 m ad una distanza di 50 m dal punto di rilascio.

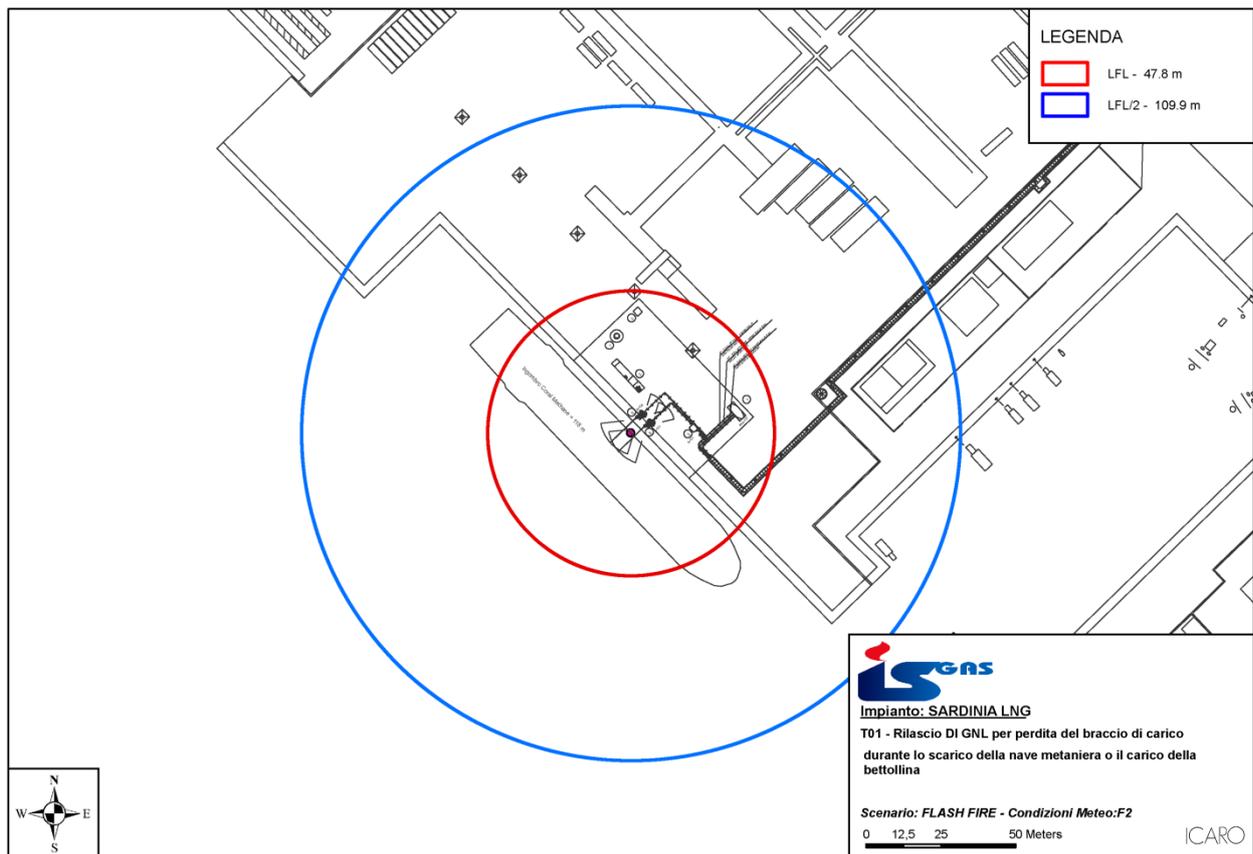


Figura 26: Scenario flash fire

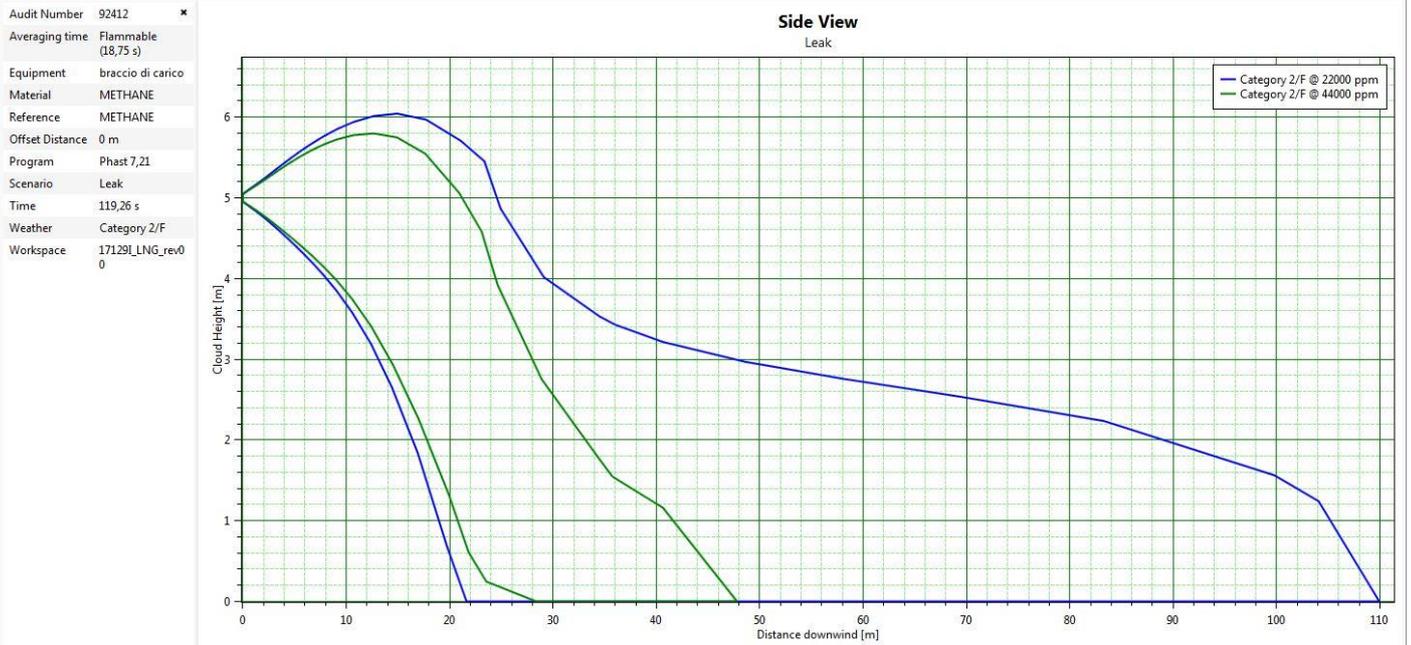


Figura 27: Profilo nube

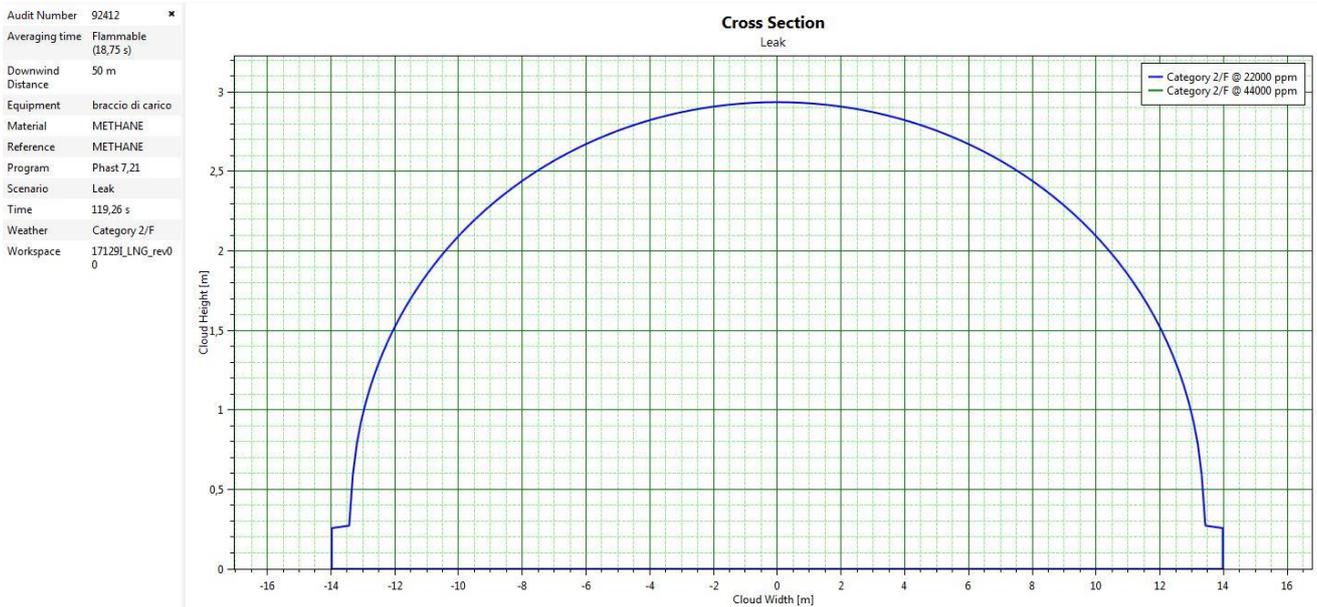


Figura 28b: Sezione nube

Da evidenziare inoltre come lo scenario Flash Fire ha una probabilità di accadimento di $3,2E-06$ eventi/anno ovvero tre eventi ogni milione di anni, calcolata considerando la probabilità di innesco che cautelativamente è stimata considerando le attività usualmente svolte nell'area circostante (in particolare banchina). Qualora tale frequenza venisse associata alla condizione atmosferica sfavorevole F2 unica in grado di spingere la nube

ad elevate distanze (probabilità 0,22) ed alla direzione del vento tale da spingere la nube verso il canale ovvero direzione di provenienza principalmente dai quadranti da Nord a Est Sud- Est (probabilità inferiore a 0,2), la probabilità dello scenario Flash Fire coinvolgente una potenziale nave in transito risulterebbe molto inferiore al limite di credibilità assunto (senza considerare la probabilità che transiti una grande nave in concomitanza del rilascio nelle condizioni sfavorevoli).

Peraltro, in relazione al quadro di rischio presentato e secondo i criteri di cui al DM LL.PP. 9 maggio 2001, l'attività del terminale GNL risulta pienamente compatibile con il territorio e le attività circostanti (per maggiori approfondimenti si rimanda alla sezione 7 "Rapporto Preliminare di Sicurezza").

Ciò nonostante si è voluto comunque verificare quali navi possano, per astratto, essere interessate durante il passaggio nel canale, da tali "non credibili" scenari.

La seguente figura invece rappresenta la larghezza di canale non interessata dal "flash fire" per il passaggio delle navi in transito, pari a massimo a 181,9 m (LFL) e 119,8 (LFL1/2), valutando una profondità media minima pari a 12/13 m circa.

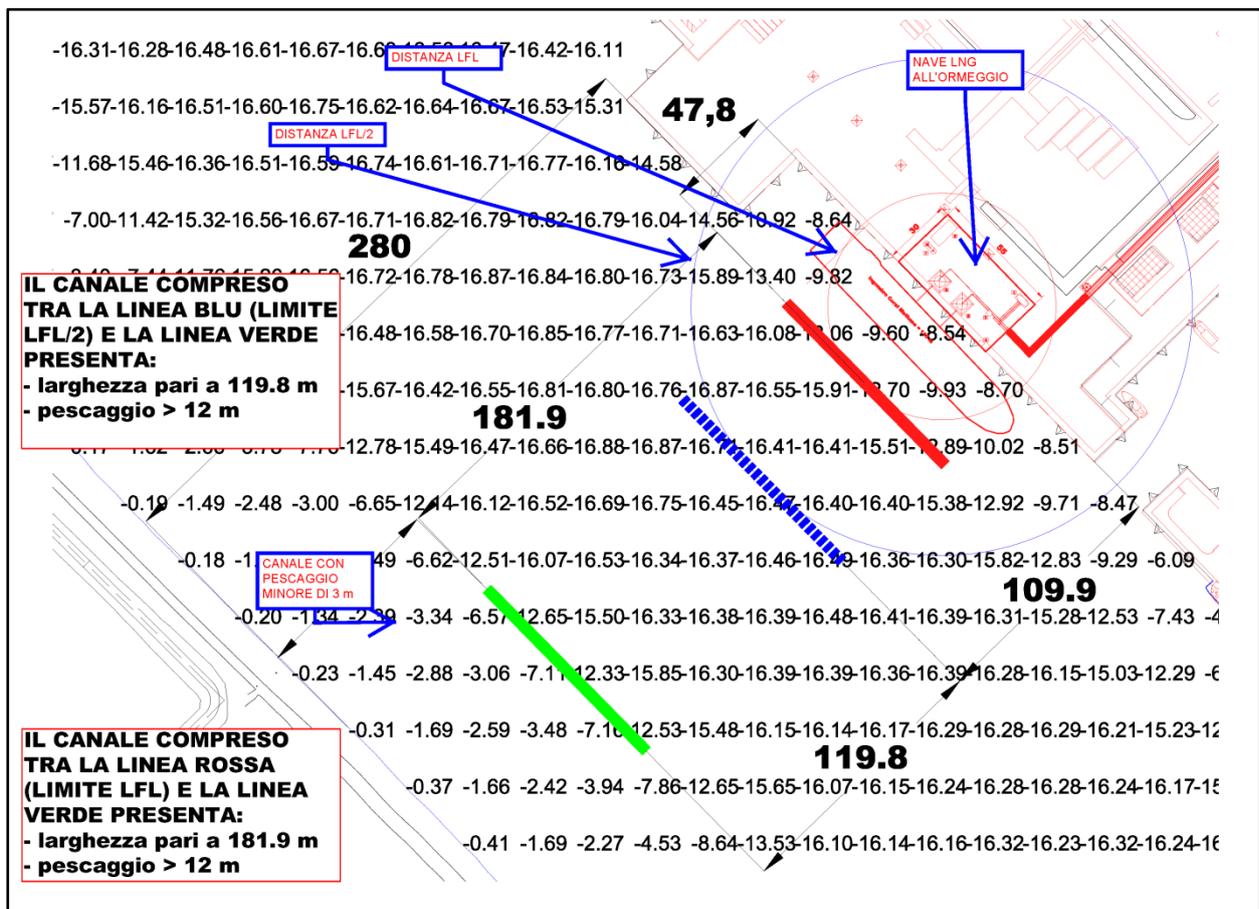


Figura 29: Larghezza del canale utile non interessato dal "Flash Fire" nel caso di LFL (Larghezza pari a 181,9 m) e di LFL/2 (Larghezza pari a 119,8 m)

3.7.2 Scenari di calcolo

Gli scenari di calcolo proposti si riferiscono a due condizioni meteo marine limite, per le quali si sono effettuate le verifiche delle distanze del flash fire indicate nella figura precedente (LFL=47,8 m - LFL/2=109,9 m):

- Scenario n°1: Condizioni metereologiche limite, che consentono le condizioni di navigabilità nel canale suddetto.
- Scenario n°2: Condizione di calma, che risulta mediamente presente per circa il 60% dell'anno nella rada di Cagliari (come riportato nel paragrafo 2.3 della presente).

Per i due scenari suddetti sono state considerate una metaniera e due navi Porta Container tipo, che presentano caratteristiche limite per il transito entro il canale suddetto.

Per lo scenario n°1 la nave metaniera tipo è la "Coneste", che presenta le seguenti caratteristiche:

- lunghezza pari a 134.44 m;
- larghezza pari a 22,5 m;
- pescaggio pari ad 8,4 m;
- portata lorda (Deadweight) pari a 11.193 t.



Figura 30: Coneste (Scenario n°1)

Si noti che il pescaggio della nave "Coneste" risulta pari a 8,4 m.

Lo scenario n°1 corrisponde a condizioni metereologiche limite, che consentono le condizioni di navigabilità nel canale suddetto. Perciò, in tali condizioni, tutte le navi che presentano dimensioni simili alla nave "Coneste", possono navigare fuori dalle aree dello scenario di flash fire (LFL e LFL1/2), (vedi figura n°29).

Per lo scenario n°2 si prendono in considerazione due navi tipo:

1) La CMA – CGM – TOSCA delle caratteristiche indicate di seguito:

- Lunghezza pari a 334,07;
- Larghezza pari a 42,8 m;
- Pescaggio pari ad 14,5 m;
- Portata lorda (Deadweight) pari a 101.818 t.



Figura 31: CMA – CGM – TOSCA (Scenario n°2)

Si noti che il pescaggio della nave "CMA – CGM – TOSCA" risulta pari a 14,5 m.

2) La Hamburger Express avente le seguenti dimensioni:

- Lunghezza pari a 336
- Larghezza pari a 48,35 m;
- Pescaggio pari ad 15,5 m;
- Portata lorda (Deadweight) pari a 142.9 t.

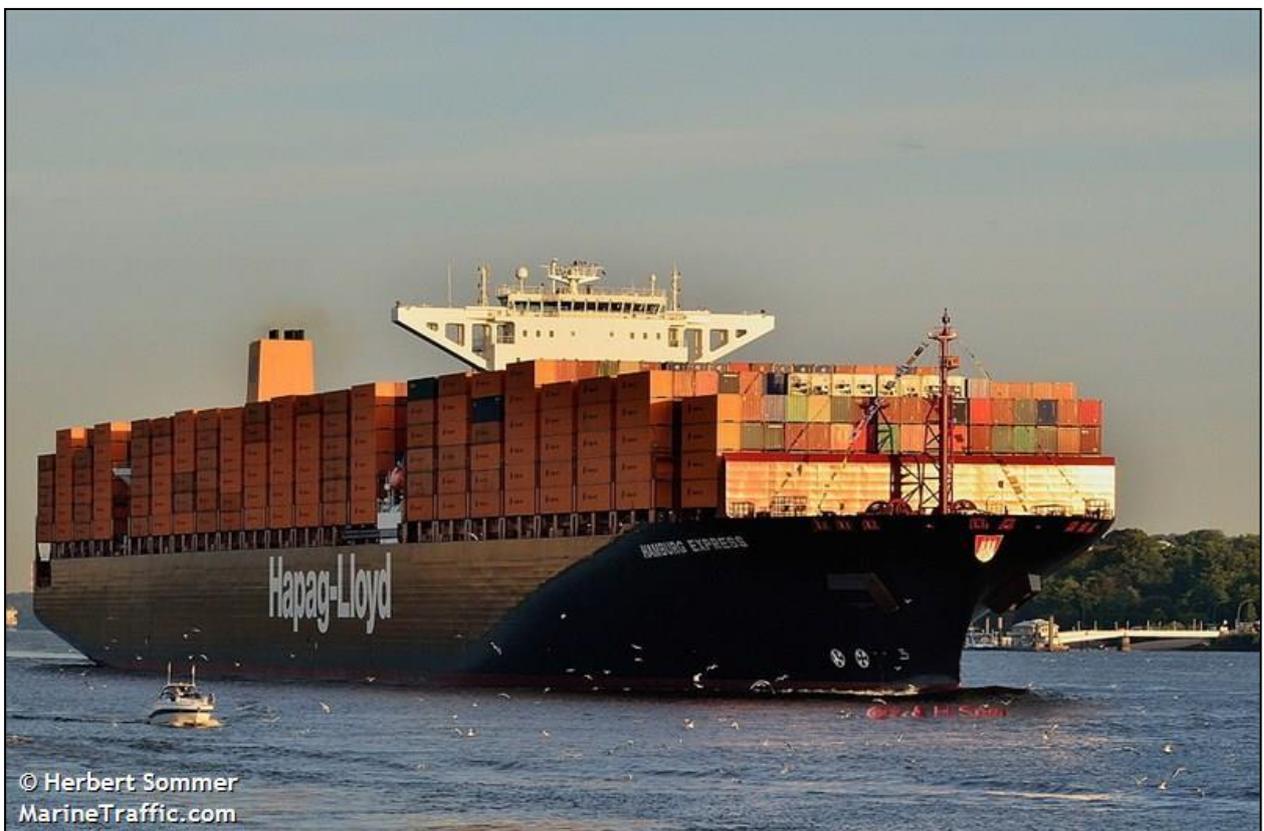


Figura 32: Hamburg Express (Scenario n°2)

Lo scenario n°2 corrisponde a condizioni meteorologiche di calma. In tale scenario tutte e tre le navi (Coneste, CMA TOSCA ed Hamburg Express), possono navigare nel canale fuori dalla zona di flash fire (LFL=47,8 m). Per lo scenario di "flash fire" (LFL/2=109,9 m), solo la Hamburg Express potrebbe essere interessata parzialmente, qualora durante la navigazione occupasse il lato del canale fronte banchina metaniera.

3.7.3 Simulazioni di calcolo

Le verifiche di calcolo sono state effettuate secondo le formulazioni impiegate nella presente relazione e riguardano la verifica della larghezza e della profondità del canale. La tabella seguente illustra le risultanze del calcolo della verifica della larghezza del canale:

VESSEL APPROACH CHANNEL WIDTH VERIFICATION																
N°1	DWT	Vessel	Lane	Lpp	B	Draft Boat	Bottom depth h	h/T	Manovrability	W _{BM}	Bank Clearance	W _{BR}	W _{GR}	Passing distance	ΣW _i	W
[]	[t]	[]	[]	[m]	[m]	[m]	[m]	[]	[]	[m]	[]	[m]	[m]	[]	[m]	[m]
1	11,193	Coneste	1	134.44	22.5	8.4	12.00	1.43	Good	29.25	Structure-slow inner	4.5	4.5	Slow Speed-Inner	58.5	97
2	101,818	CMA	1	335	42.8	14.5	16.00	1.10	Good	55.64	Structure-slow inner	8.56	8.56	Slow Speed-Inner	42.8	116
3	142,295	HAMBURG	1	370	48.35	15.5	16.00	1.03	Good	62.855	Structure-slow inner	9.67	9.67	Slow Speed-Inner	48.35	131

Figura 29: Verifica larghezza del canale pari a 181,8 m

Si noti che le larghezze di calcolo risultano verificate:

- Per la distanza pari all' LFL=47,8 m:
Per lo scenario n°1 (Boat n°1=Coneste); per le due navi dello scenario n°2 (Boat n°2=CMA e Boat n°3=Hamburg), in quanto tutte e tre inferiori a 181,9 m;
- Per la distanza pari all' LFL/2=109,9 m:
Per lo scenario n°1 (Boat n°1=Coneste); per scenario n°2 per la nave sola nave CMA (Boat n°2), in quanto tutte e due inferiori a 119,8 m.
Per quanto riguarda la nave Hamburg, la larghezza del canale da calcolo pari a 131 m, risulta superiore alla larghezza disponibile pari a 119,8, per una differenza in larghezza pari a circa 20 m. Tale aspetto per quanto detto sopra non preclude in nessun modo il passaggio della nave.

La tabella seguente illustra le risultanze del calcolo della verifica della profondità del canale

Boat	Capacity	Vessel Name	Lpp	B	Draft Boat	Tide	Draft T max	Bottom depth h	UKC netto min.	Z _{wind}	Z _{wave}	Squat	UKC netto min.	Fondale minimo
[]	[mc]	[]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
1	11,193	Coneste	134.44	22.5	8.4	0.38	8.78	12	0.50	0.14	0.01	0	1.3	10.2
2	101,818	CMA	335	42.8	14.5	0.38	14.88	16.40	0.50	0.09	0.01	0	1.3	16.3
3	142,295	HAMBURG	370	48.35	15.5	0.38	15.88	16.40	0.50	0.09	0.01	0	1.3	17.3

Figura 34: Verifica profondità del canale pari a 16,4 m



Si noti, analogamente a quanto sopra riportato, che la profondità di calcolo risulta praticamente verificata, per le prime due imbarcazioni (in quanto il fondale minimo calcolato pari a 16,3 m è inferiore al fondale esistente pari a 16,4 m), mentre non risulterebbe verificata per la nave Hamburg (in quanto il fondale minimo calcolato pari a 17,3 m è superiore al fondale esistente pari a 16,4 m). Per tale nave, dunque, valgono dunque le suddette indicazioni indicate nella verifica della larghezza del canale. (considerando inoltre, che in questo caso, la profondità di calcolo viene confrontata con la profondità esistente del canale, non dipendente dall'installazione in progetto).

Considerando quindi quanto sopra riportato, allo stato attuale del canale portuale, le navi tipo Coneste e tipo CMA possono navigare nel canale stesso al di fuori degli scenari di flash fire $LFL=47,8$ m e $LFL/2=109,9$ m.

La Hamburg Express invece viene interessata in parzialmente dallo scenario di flash fire $LFL/2$ (109,9 m).

4 CONCLUSIONI

Nella presente relazione sono raccolti gli studi di fattibilità relativi al Terminale portuale per lo stoccaggio e la distribuzione di GNL, che si intende realizzare all'interno del Porto Canale di Cagliari. Il Terminale sarà approvvigionato mediante gasiere di piccola taglia di capacità pari a 7,500 e 15,600 mc.

Nel presente studio attraverso l'inquadramento meteo marino del paraggio e l'analisi delle caratteristiche del porto canale sono stati verificati con esito positivo i seguenti parametri:

- Rotte di accesso e canali di manovra, verificando in particolare: profondità minima necessaria alle gasiere inferiore a 9 m, larghezza minima per il passaggio per una corsia di manovra pari a 125 m, larghezza minima per il passaggio a doppio senso di manovra pari a 200 m circa;
- Aree di evoluzione: diametro del cerchio di evoluzione pari a 70 m;
- Scenari di transito delle navi (Passing Ship) in riferimento alla posizione delle navi metaniere: l'altezza d'onda (al centro del canale) provocata da una nave in transito del tipo CMA– CGM–TOSCA (avente dislocamento a pieno carico pari a 102 mila tonnellate circa), ed in movimento ad una velocità pari a 6 nodi, è stata stimata pari ad 80 cm circa, e l'altezza d'onda (al centro del canale) provocata da una nave in transito del tipo HAMBURG EXPRESS (avente dislocamento a pieno carico pari a 142 mila tonnellate circa), ed in movimento ad una velocità pari a 6 nodi, è stata stimata pari ad 100 cm circa (Attenzione: l'altezza d'onda incidente sulla banchina è stata valutata nella relazione esecutiva di ormeggio). Conformemente alla richiesta della Capitaneria di Porto del 21.07.2017, è stata valutata anche l'altezza d'onda (al centro del canale) provocata dalla stessa nave HAMBURG EXPRESS in movimento ad una velocità pari a 10 nodi. L'altezza d'onda è stata stimata pari



ad 150 cm circa. Tale valore risulta relativamente elevato in considerazione anche del fatto che la nave in tale scenario si troverebbe in condizioni di profondità relativa limitata, con rischio di sbandamento (sarebbe consigliabile una velocità di transito non superiore a 6 nodi).

- Scenari “non credibili” di rischio per rilascio di LNG a seguito di rottura del braccio di carico della nave metaniera (Flash Fire): In base a quanto esposto (vedi anche Doc. D_01_ES_14_SMN_R01), le navi non verrebbero esposte agli irraggiamenti prodotti da tali eventi.