

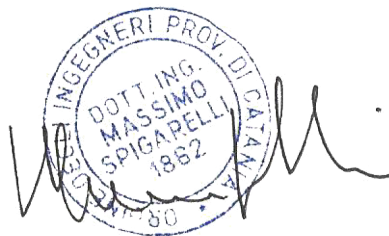


Contraente: 	Progetto: INTEGRAZIONE E ACCORPAMENTO TRUCK LOADING E RIFACIMENTO PONTILE SECONDARIO N° Contratto : N° Commessa : P21IT04083	Cliente: 	
N° documento: P21IT04083-SAF-RE-000-001	Foglio 1 di 22	Data 16/04/2021	N° documento: RE-SIN-001

**INTEGRAZIONE E ACCORPAMENTO
TRUCK LOADING E RIFACIMENTO PONTILE SECONDARIO**

Annesso 10

**RELAZIONE DI VALUTAZIONE DELLE INTERFERENZE DEL RO-RO FERRY ELETTRICO,
CHE TRASPORTA AUTOCISTERNE/ISOCONTAINER DI GNL, CON I NATANTI
ALL'INTERNO DEL GOLFO DI LA SPEZIA**



00	16-04-21	EMMISSIONE PER PERMESSI	PONTIGGIA	BONCI	PIROZZI
REV	DATA	TITOLO REVISIONE	PREPARATO	CONTROLLATO	APPROVATO

INTEGRAZIONE E ACCORPAMENTO TRUCK LOADING E RIFACIMENTO PONTILE SECONDARIO**RELAZIONE VALUTAZIONE INTERFERENZE DEL RO-RO FERRY NEL GOLFO DELLA SPEZIA**

Engineering doc. no.:

P21IT04083-SAF-RE-000-001

Rev.:

00

Company doc. no.:

RE-SIN-001

Foglio 2 di 22

INDICE

1	PREMESSA	3
2	SCOPO DEL DOCUMENTO	4
	2.1 Definizioni	4
	2.2 Abbreviazioni	4
	2.3 Documenti di riferimento	4
3	DESCRIZIONE DEL PROGETTO	5
4	METODOLOGIA	6
	4.1 Acquisizione dei dati AIS	7
	4.2 Elaborazione dei dati AIS	7
	4.3 Valutazione della frequenza di interazione	8
	4.4 Stima dei parametri per la risoluzione dell'albero dei guasti	12
5	RISULTATI	15
	5.1 Valutazione del traffico marittimo nell'area di interesse	15
	5.2 Frequenza di impatto	17
6	CONCLUSIONI	22

INTEGRAZIONE E ACCORPAMENTO TRUCK LOADING E RIFACIMENTO PONTILE SECONDARIO**RELAZIONE VALUTAZIONE INTERFERENZE DEL RO-RO FERRY NEL GOLFO DELLA SPEZIA**

Engineering doc. no.: P21IT04083-SAF-RE-000-001	Rev.: 00						Company doc. no.: RE-SIN-001
Foglio 3 di 22							

1 PREMESSA

Lo scopo del presente elaborato è la valutazione della frequenza di interazione tra i natanti in navigazione all'interno del golfo di La Spezia e il ro-ro ferry elettrico adibito al trasporto di GNL nell'ambito del progetto di realizzazione di una stazione di caricamento di GNL su autobotti/isocontainer presso lo stabilimento di GNL-Italia a Panigaglia (Truck Loading).

L'elaborato è stato sviluppato considerando tre possibili alternative per il percorso del ro-ro ferry elettrico:

1. dal Pontile secondario situato nell'impianto GNL-Italia verso il Molo Garibaldi;
2. dal Pontile secondario situato nell'impianto GNL-Italia verso il Molo Malaspina;
3. dal Pontile secondario situato nell'impianto GNL-Italia verso il Terminale Tarros.

Si è considerato di operare con 13 round trip al giorno del ro-ro ferry elettrico che trasporta 4 autobotti/isocontainer, per 280 giorni complessivi all'anno, per un totale di 3.640 round trip/anno.

La caratterizzazione del traffico marittimo all'interno del golfo di La Spezia è stata ottenuta tramite revisione dei dati di traffico storici per il periodo 2016-2018 tramite acquisizione e elaborazione dei dati AIS. L' AIS (Automatic Identification System) è un sistema automatico di tracciamento utilizzato dalle navi e dai servizi VTS (Vessel Tracking Services) per l'identificazione e la rilevazione della posizione delle navi basato sul continuo scambio di informazioni tra navi vicine e tra navi e basi AIS (sia terrestri che satellitari). Le informazioni scambiate dai sistemi AIS comprendono l'identificazione univoca della nave, la sua posizione, rotta, velocità, direzione e tipo di imbarcazione.

L'elaborazione dei dati AIS ha permesso di identificare i movimenti dei singoli natanti all'interno del golfo di La Spezia; per ciascun natante sono quindi stati identificati tutte le teoriche intersezioni con le rotte proposte per il ro-ro ferry elettrico e calcolata la probabilità che, data l'intersezione delle rotte, si verifichi uno scenario incidentale di impatto.

INTEGRAZIONE E ACCORPAMENTO TRUCK LOADING E RIFACIMENTO PONTILE SECONDARIO**RELAZIONE VALUTAZIONE INTERFERENZE DEL RO-RO FERRY NEL GOLFO DELLA SPEZIA**

Engineering doc. no.: P21IT04083-SAF-RE-000-001	Rev.: 00						Company doc. no.: RE-SIN-001
Foglio 4 di 22							

2 SCOPO DEL DOCUMENTO

Lo scopo del presente documento è quello di presentare la metodologia, le assunzioni e le conclusioni relative alla valutazione delle frequenze di interazione tra il ro-ro ferry elettrico adibito a trasporto di autocisterne/isocontainer con il traffico marittimo presente all'interno del Golfo di La Spezia.

2.1 Definizioni

Progetto:	Integrazione e accorpamento truck loading e rifacimento pontile secondario
Committente:	GNL Italia S.p.a
Appaltatore:	Enereco S.p.a.

2.2 Abbreviazioni

AIS	Automatic Identification System
GNL	Gas Naturale Liquefatto.
MCS	Minimal Cut Set
VTS	Vessel Tracking System

2.3 Documenti di riferimento

I seguenti riferimenti sono stati considerati ai fini dello sviluppo del presente documento.

Rif.	Titolo	Data
[1]	Database AIS per il golfo di La Spezia	2016-2018
[2]	DNV-RP-F107	
[3]	Williams, J.C., HEART – A Proposed Method for Assessing and Reducing Human Error	1986

Engineering doc. no.: P21IT04083-SAF-RE-000-001	Rev.: 00	Foglio 5 di 22	Company doc. no.: RE-SIN-001
--	----------	----------------	---------------------------------

3 DESCRIZIONE DEL PROGETTO

Il progetto ha lo scopo di integrare l'autorizzazione ambientale nell'ambito della procedura di verifica di Assoggettabilità a VIA presentata in data 16/12/2019 "Procedimento di Non assoggettabilità a VIA" relativa al progetto di realizzazione di una stazione di caricamento di GNL su autobotti/isocontainer presso il rigassificatore di Panigaglia (Truck Loading). Nello specifico, il pontile secondario situato nell'Impianto GNL Italia sarà il punto di partenza delle autobotti tramite ro-ro ferry elettrico verso tre possibili moli all'interno dell'area portuale di La Spezia, in particolare il Molo Garibaldi, il Molo Malaspina e il Molo a cui afferisce l'area Tarros, come visibile nell'immagine sottostante.



Figura 1: Moli di attracco del ro-ro ferry elettrico che trasporta autocisterne/isocontainer carichi di GNL

Engineering doc. no.: P21IT04083-SAF-RE-000-001	Rev.: 00	Foglio 6	di 22	Company doc. no.: RE-SIN-001
--	----------	----------	-------	---------------------------------

4 METODOLOGIA

Scopo del presente studio è la valutazione della frequenza di interazione tra il ro-ro ferry elettrico adibito al trasporto di autocisterne/isocontainer e il traffico marittimo presente all'interno del golfo di La Spezia; la stima di tale frequenza viene effettuata utilizzando la distribuzione di natanti all'interno del golfo registrata tramite dati AIS per il periodo 2016-2018 e valutando la possibilità di interazione del ro-ro ferry elettrico con ciascuna rotta registrata nel database.

In particolare, la metodologia si articola nei seguenti passaggi:

- ✓ Acquisizione dei dati AIS per l'area di interesse;
- ✓ Elaborazione dei dati AIS per l'identificazione delle interferenze con le rotte proposte per il ro-ro ferry elettrico;
- ✓ Calcolo della frequenza di interazione tra ro-ro ferry elettrico e natanti presenti all'interno del golfo di La Spezia per ciascun punto di interferenza.

La valutazione delle frequenze di interazione viene effettuata per le tre rotte alternative considerate a progetto:

- ✓ GNL-Italia – Molo Garibaldi (evidenziato in rosso in Figura 2);
- ✓ GNL-Italia – Molo Malaspina (evidenziato in giallo in Figura 2);
- ✓ GNL-Italia – Terminale Tarros (evidenziato in verde in Figura 2).



Figura 2: Identificazione delle rotte del ro-ro ferry elettrico per il trasporto di autocisterne/isocontainer

INTEGRAZIONE E ACCORPAMENTO TRUCK LOADING E RIFACIMENTO PONTILE SECONDARIO							
RELAZIONE VALUTAZIONE INTERFERENZE DEL RO-RO FERRY NEL GOLFO DELLA SPEZIA							
Engineering doc. no.:	Rev.:	00					Company doc. no.:
P21IT04083-SAF-RE-000-001	Foglio 7 di 22						RE-SIN-001

4.1 Acquisizione dei dati AIS

L' AIS (Automatic Identification System) è un sistema automatico di tracciamento utilizzato dalle navi e dai servizi VTS (Vessel Tracking services) per l'identificazione e la rilevazione della posizione delle navi basato sul continuo scambio di informazioni tra navi vicine e tra navi e basi AIS (sia terrestri che satellitari). Le informazioni scambiate dai sistemi AIS comprendono l'identificazione univoca della nave, la sua posizione, rotta, velocità, direzione e tipo di imbarcazione.

Per l'analisi in oggetto sono stati acquisiti i dati AIS relativi al periodo 2016 - 2018. I dati sono forniti in tabelle in formato CSV (Comma Separated Value); ciascuna riga del database AIS fornisce i dati di una nave al momento della registrazione e trasmissione ad altri sistemi AIS.

4.2 Elaborazione dei dati AIS

Il database AIS fornisce una descrizione puntuale delle posizioni successive occupate da ciascuna nave all'interno dell'area di interesse e per il periodo di tempo selezionato; lo scopo dell'elaborazione dei dati è l'identificazione delle rotte delle navi registrate dal sistema AIS sulla base delle posizioni successive fornite dal database.

Il campione di dati per l'area di interesse per il periodo 2016-2018 contiene oltre 1.600.000 registrazioni, rendendo quindi necessario l'utilizzo di routine automatica per l'elaborazione della mole di informazioni disponibili. Tale routine svolge, in maniera automatica e continua, i seguenti passaggi:

1. lettura e interpretazione del database in formato CSV (Comma Separated Value); i dati vengono letti e filtrati per rimuovere navi all'ancora o in secca. Questo filtro permette di ridurre il numero di registrazioni da analizzare, alleggerendo i tempi di calcolo, senza impattare sulla risoluzione ottenuta nella definizione delle rotte di traffico marittimo;
2. riordino del database in ordine cronologico crescente (dalla registrazione più vecchia alla registrazione più nuova);
3. riordino del database per identificazione univoca della nave;
4. selezione delle prime due registrazioni nel database: se le due registrazioni descrivono posizioni successive della stessa nave e la distanza temporale tra le due registrazioni è sufficientemente piccola, viene calcolata e memorizzata la rotta come segmento di retta che congiunge le due posizioni successive. La distanza temporale massima è definita pari a 30 minuti; oltre a tale intervallo, le registrazioni vengono interpretate come appartenenti a due rotte separate della stessa nave;
5. la routine valuta l'intersezione del segmento di rotta con il percorso proposto per il ro-ro ferry elettrico; in caso di interazione, il segmento di rotta viene memorizzato per elaborazioni successive e per la rappresentazione grafica delle rotte marittime;
6. la routine seleziona la registrazione successiva e procede con l'applicazione degli step 4, 5 e 6 fino alla fine del database.

La Figura 3 riporta il diagramma di flusso completo che descrive la procedura di elaborazione dei dati AIS.

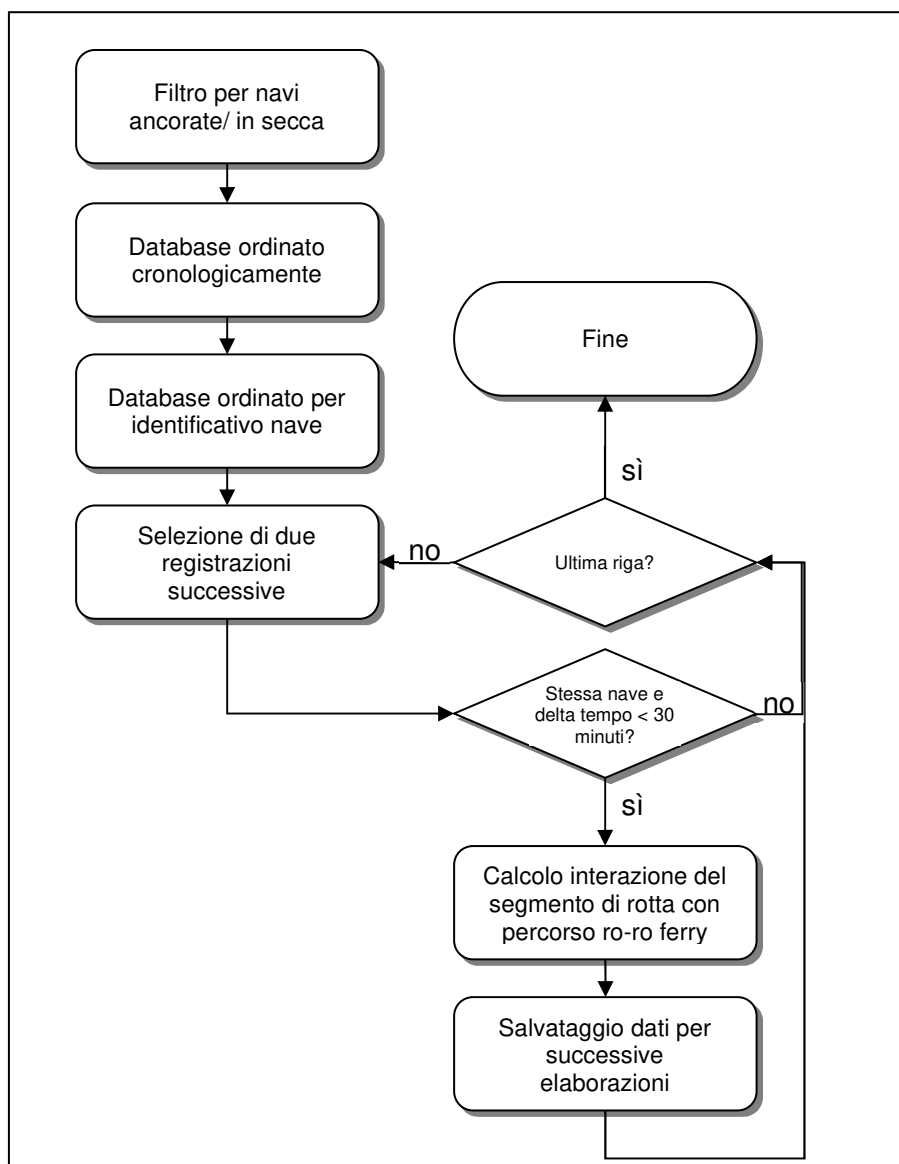


Figura 3: Diagramma di flusso per la procedura di elaborazione dati AIS

4.3 Valutazione della frequenza di interazione

L'analisi dei dati storici contenuti nel database AIS permette di indentificare i potenziali punti di interazione tra il traffico dei natanti all'interno del golfo di La Spezia e il ro-ro ferry elettrico in transito sulle rotte proposte dal terminale GNL-Italia al Molo Garibaldi/Molo Malaspina/Terminale Tarros. Tali punti di interazione sono identificati come le intersezioni tra le rotte delle navi e la rotta del ro-ro ferry elettrico; perché un punto di intersezione generi uno scenario di impatto occorre che:

- ✓ entrambe le imbarcazioni (ro-ro ferry elettrico e natante) si trovino all'interno del corridoio di interazione nello stesso istante;
- ✓ si verifichi un evento di perdita di controllo a bordo di una delle due navi;
- ✓ falliscano, a bordo di entrambe le navi, i tentativi di recupero in emergenza.

Al fine di analizzare tutti i possibili scenari e le combinazioni che possono portare all'impatto delle due imbarcazioni, si propone l'utilizzo della tecnica dell'Albero dei Guasti.

Tale tecnica prevede la scomposizione di un evento indesiderato (top event) di natura complessa nella combinazione logica di eventi più semplici (eventi iniziatori) posti in relazione tra di loro tramite l'utilizzo di porte logiche. La costruzione dell'Albero dei Guasti procede a partire dalla definizione del top-event identificandone le cause. Ciascuna causa può essere a sua volta scomposta, tramite approccio top-down, in una serie di sottocause. La procedura viene ripetuta fino all'identificazione degli eventi iniziatori, definiti come eventi semplici per i quali è possibile calcolare frequenza e/o probabilità di accadimento.

Le porte logiche utilizzate per la costruzione dell'albero dei guasti utilizzato nella valutazione delle interferenze tra ro-ro ferry e traffico marittimo nel golfo di La Spezia sono:

- ✓ porta AND: la porta logica AND viene utilizzata quando gli eventi devono accadere simultaneamente perché si verifichi il top event;
- ✓ porta OR: la porta logica OR viene utilizzata quando è sufficiente che si verifichi uno solo degli eventi iniziatori per ottenere il top event;
- ✓ porta INHIBIT: la porta logica inhibit viene utilizzata per esprimere la probabilità condizionale che un evento accada dato che l'evento iniziatore si è verificato.

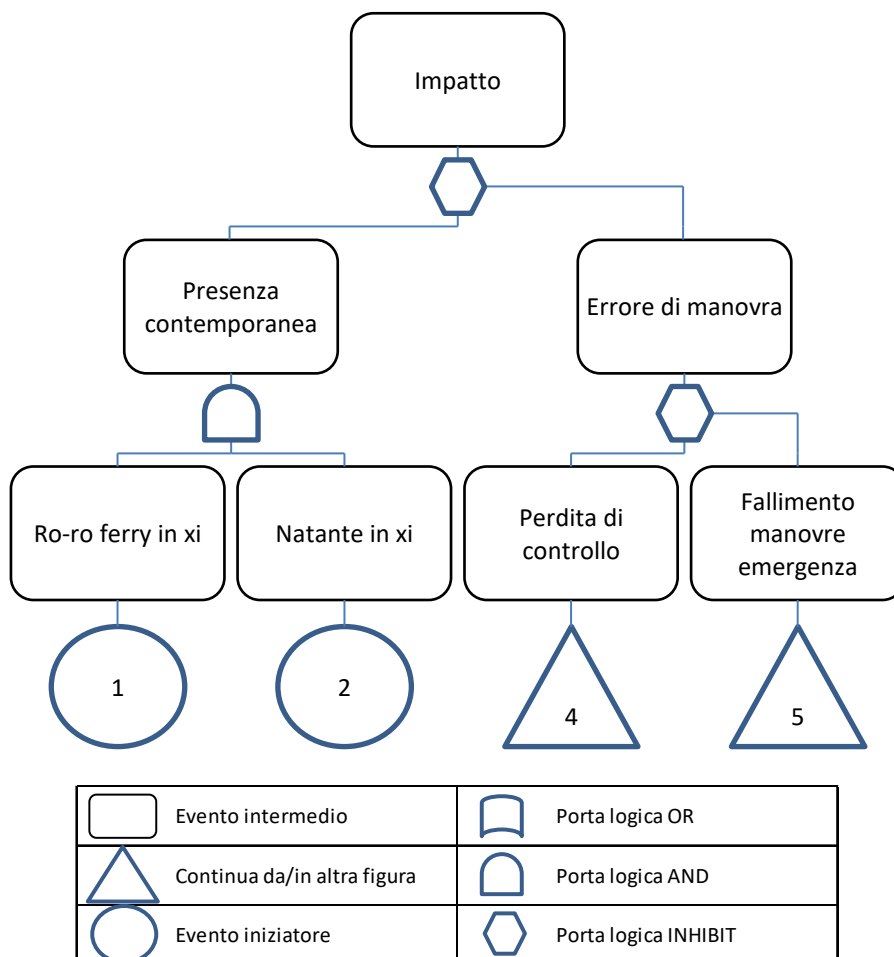


Figura 4: Albero dei Guasti

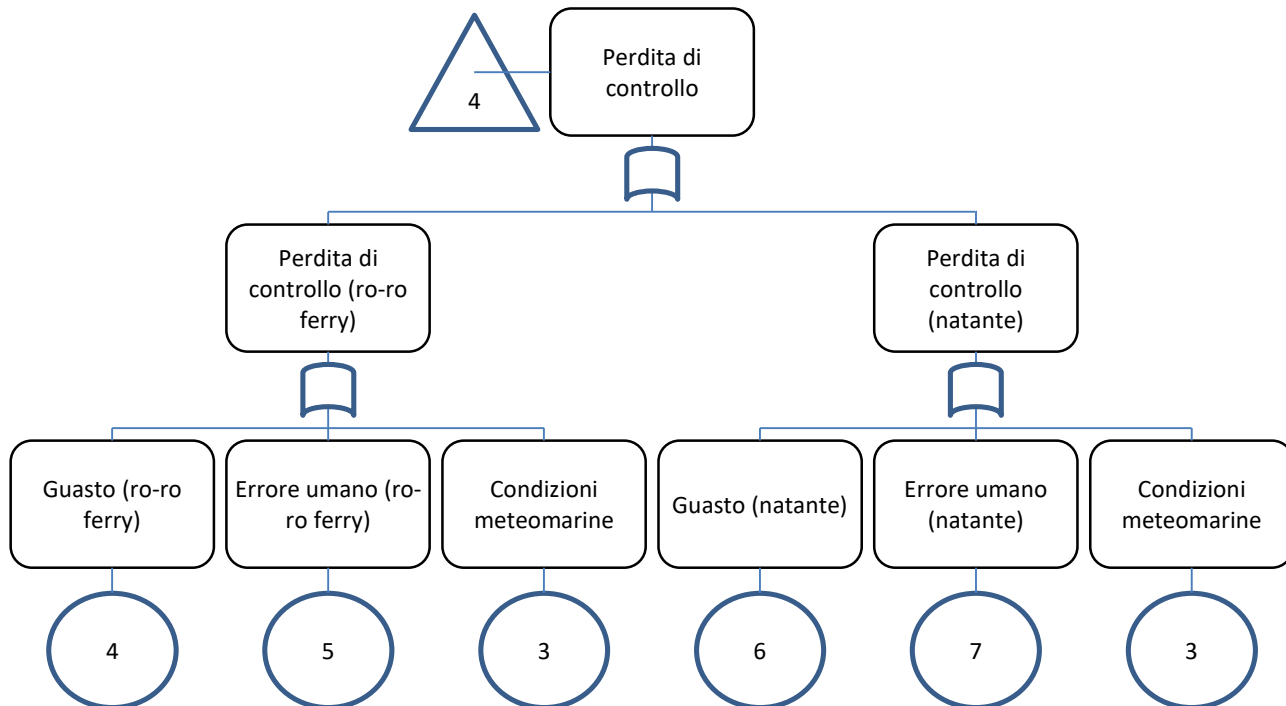


Figura 5: Albero dei Guasti (dettaglio ramo 4)

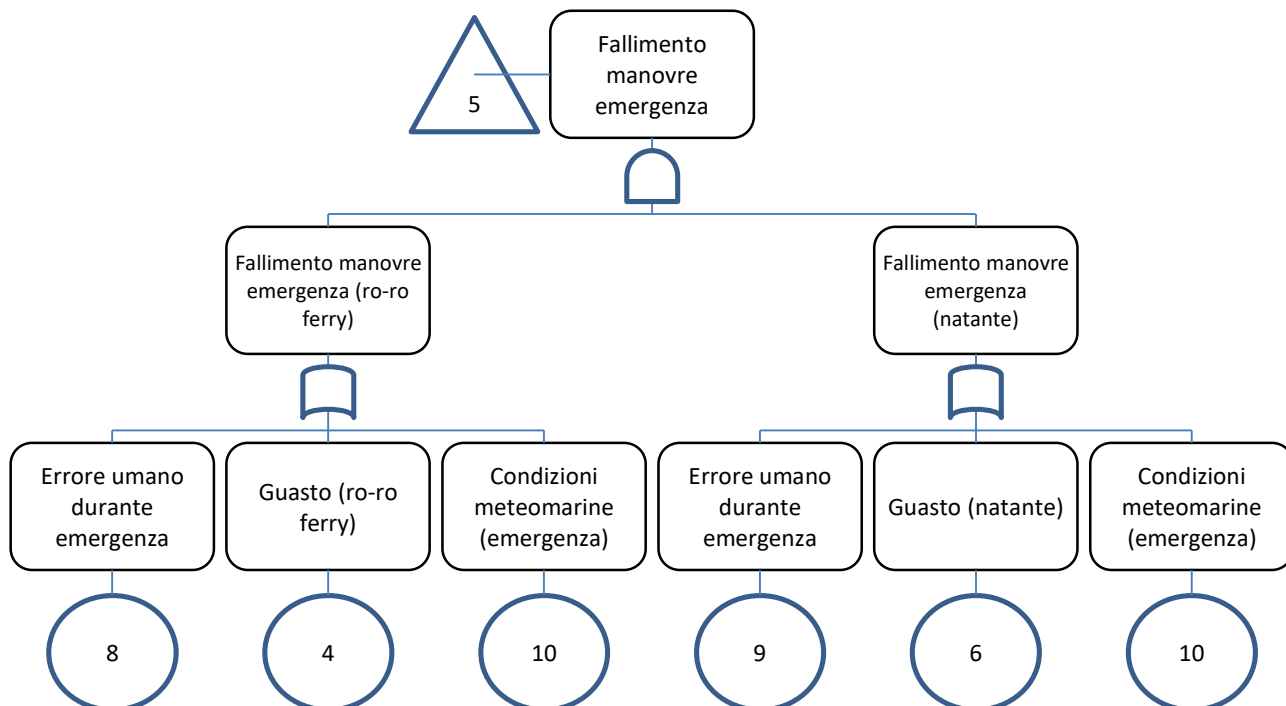


Figura 6: Albero dei Guasti (dettaglio ramo 5)

La Figura 4 riporta il grafico elaborato dell'Albero dei Guasti sviluppato per l'analisi oggetto del presente studio; per favorire la leggibilità del grafico i rami 4 e 5 sono riportati in dettaglio in Figura 5 e Figura 6 rispettivamente.

Il top-event considerato per l'analisi è definito dallo scenario di impatto tra ro-ro ferry elettrico e generico natante; per avere il top event è necessaria la presenza contemporanea del ro-ro ferry e del natante alla generica coordinata x_i , espressa come combinazione in AND dell'Evento 1

INTEGRAZIONE E ACCORPAMENTO TRUCK LOADING E RIFACIMENTO PONTILE SECONDARIO

RELAZIONE VALUTAZIONE INTERFERENZE DEL RO-RO FERRY NEL GOLFO DELLA SPEZIA

Engineering doc. no.: P21IT04083-SAF-RE-000-001	Rev.: 00	Foglio 11 di 22	Company doc. no.: RE-SIN-001
--	----------	-----------------	---------------------------------

(presenza del ro-ro ferry alla coordinata x_i) e dell'Evento 2 (presenza del generico natante alla coordinata x_i). Il vettore delle coordinate x_i è costituito dall'insieme di tutte le intersezioni tra percorso proposto per il ro-ro ferry elettrico e le rotte delle navi ricavate dall'analisi dei dati storici AIS. I calcoli di frequenza di interazione verranno quindi svolti singolarmente per ciascun punto di intersezione. Data la presenza simultanea di ro-ro ferry elettrico e natante all'interno del corridoio di interazione, si verifica uno scenario di impatto in caso di errore di manovra (scenario "Errore di manovra" posto in INHIBIT rispetto alla presenza contemporanea); in cascata, l'errore di manovra richiede la perdita di controllo a bordo di una delle due navi (a bordo del ro-ro ferry elettrico o a bordo del generico natante, porta logica OR) e il successivo fallimento delle manovre di emergenza sia a bordo del ro-ro ferry elettrico sia a bordo del natante (porta AND).

La perdita di controllo a bordo di un natante può essere causata (porta OR):

- ✓ da un guasto a bordo del natante;
- ✓ dall'errore umano durante la normale manovra dell'imbarcazione;
- ✓ da condizioni meteomarine avverse che impediscano la corretta manovrabilità.

Analogamente il fallimento della manovra di recupero in caso di emergenza può essere causato da (porta OR):

- ✓ dall'errore umano in condizioni di stress;
- ✓ da un guasto a bordo del natante;
- ✓ da condizioni meteomarine avverse che impediscano di eseguire per tempo manovre di emergenza.

L'albero dei guasti può essere risolto, utilizzando le regole dell'algebra di Boole per ottenere i Minimal Cut Sets, ovvero le combinazioni minime di eventi iniziatori al verificarsi delle quali si verifica il top event. Gli eventi iniziatori considerati sono riassunti in Tabella 1.

Tabella 1: Eventi iniziatori utilizzati nell'albero dei guasti

Id	Descrizione	Frequenza (F_i)	Probabilità (P_i)
1	Presenza del ro-ro ferry in posizione x_i	$F_1 = n_c$	$P_1 = \frac{n_c \cdot l_c + w_i}{8760 \cdot v_c}$
2	Presenza del natante in posizione x_i	$F_2 = \frac{1}{T_{AIS}}$	$P_2 = \frac{1}{T_{AIS} \cdot 8760 \cdot v_i}$
3	Errore di manovra a causa di condizioni meteomarine avverse		$P_3 = 0$
4	Guasto ai sistemi a bordo del ro-ro ferry		$P_4 = \frac{\lambda \cdot A x_i}{v_c}$
5	Errore umano durante la navigazione a bordo del ro-ro ferry		$P_5 = 2E - 05$
6	Guasto ai sistemi a bordo del natante		$P_6 = \frac{\lambda \cdot d_i}{v_i}$
7	Errore umano durante la navigazione a bordo del natante		$P_7 = 2E - 05$
8	Errore umano durante manovra di emergenza a bordo del ro-ro ferry		$P_8 = 3E - 03$
9	Errore umano durante manovra di emergenza a bordo del natante		$P_9 = 3E - 03$
10	Fallimento manovra di emergenza per condizioni meteomarine avverse		$P_{10} = 0$

I minimal cut set risultanti dall'analisi dell'Albero dei guasti sono riportati in Tabella 2.

INTEGRAZIONE E ACCORPAMENTO TRUCK LOADING E RIFACIMENTO PONTILE SECONDARIO

RELAZIONE VALUTAZIONE INTERFERENZE DEL RO-RO FERRY NEL GOLFO DELLA SPEZIA

Engineering doc. no.:	Rev.:	00					Company doc. no.:
P21IT04083-SAF-RE-000-001	Foglio 12 di 22					RE-SIN-001	

Tabella 2: Minimal Cut Set

Id	MCS	Ordine	Frequenza
1	E₀₁ AND E₀₂ INH E₀₄ AND E₀₉	4	$(F_1 P_2 + F_2 P_1) \cdot P_4 \cdot P_9$
2	E₀₁ AND E₀₂ INH E₀₄ AND E₀₆	4	$(F_1 P_2 + F_2 P_1) \cdot P_4 \cdot P_6$
3	E₀₁ AND E₀₂ INH E₀₄ AND E₁₀	4	$(F_1 P_2 + F_2 P_1) \cdot P_4 \cdot P_{10}$
4	E₀₁ AND E₀₂ INH E₀₅ INH E₁₀	4	$(F_1 P_2 + F_2 P_1) \cdot P_5 \cdot P_{10}$
5	E₀₁ AND E₀₂ INH E₀₃ INH E₁₀	4	$(F_1 P_2 + F_2 P_1) \cdot P_3 \cdot P_{10}$
6	E₀₁ AND E₀₂ INH E₀₆ INH E₀₈	4	$(F_1 P_2 + F_2 P_1) \cdot P_6 \cdot P_8$
7	E₀₁ AND E₀₂ INH E₀₆ INH E₁₀	4	$(F_1 P_2 + F_2 P_1) \cdot P_6 \cdot P_{10}$
8	E₀₁ AND E₀₂ INH E₀₇ INH E₁₀	4	$(F_1 P_2 + F_2 P_1) \cdot P_7 \cdot P_{10}$
9	E₀₁ AND E₀₂ INH E₀₅ INH E₀₈ AND E₀₉	5	$(F_1 P_2 + F_2 P_1) \cdot P_5 \cdot P_8 \cdot P_9$
10	E₀₁ AND E₀₂ INH E₀₃ INH E₀₈ AND E₀₉	5	$(F_1 P_2 + F_2 P_1) \cdot P_3 \cdot P_8 \cdot P_9$
11	E₀₁ AND E₀₂ INH E₀₇ INH E₀₈ AND E₀₉	5	$(F_1 P_2 + F_2 P_1) \cdot P_7 \cdot P_8 \cdot P_9$

4.4 Stima dei parametri per la risoluzione dell'albero dei guasti

Di seguito si riportano le principali assunzioni e referenze utilizzate per il calcolo delle frequenze e probabilità degli eventi iniziatori considerati nella costruzione dell'albero dei guasti:

- ✓ La frequenza di passaggio del ro-ro ferry elettrico in corrispondenza della generica posizione x_i è pari a n_c , numero di viaggi operati dal ro-ro ferry elettrico in un anno (stimati in 3.640 round trip/anno);
- ✓ Il vettore di punti x_i è costruito tramite identificazione delle intersezioni tra rotte dei natanti nel golfo di La Spezia e il percorso proposto per il ro-ro ferry elettrico. Ciascun punto rappresenta quindi uno specifico attraversamento della rotta del ro-ro ferry elettrico registrato nel database AIS. La frequenza di passaggio del generico natante in corrispondenza della generica posizione x_i è quindi stimata pari a $\frac{1}{T_{AIS}}$, ovvero il reciproco del periodo coperto dal campionamento dei dati AIS (3 anni);
- ✓ La probabilità di presenza del ro-ro ferry elettrico all'interno del corridoio di interazione è stimata come il rapporto di ore spese dal ro-ro ferry elettrico all'interno del corridoio di interazione e le ore presenti in un anno. Stimando la dimensione del corridoio di interazione come somma della lunghezza del ro-ro ferry elettrico l_c e della larghezza della i -esima nave w_i che transita nel punto di intersezione, e conoscendo la velocità media del ro-ro ferry elettrico v_c , tale probabilità può essere espressa dalla seguente equazione:

$$P_1 = \frac{n_c}{8760} \frac{l_c + w_i}{v_c}$$

- ✓ Analogamente, la probabilità di presenza del natante all'interno del corridoio di interazione è funzione della lunghezza del natante l_i , della larghezza del ro-ro ferry elettrico w_c e della velocità della nave v_i in corrispondenza del punto di attraversamento:

$$P_2 = \frac{1}{T_{AIS} \cdot 8760} \frac{l_i + w_c}{v_i}$$

- ✓ In accordo ai regolamenti portuali in vigore all'interno del golfo di La Spezia, la navigazione è interdetta in caso di condizioni meteomarine avverse; la probabilità di un evento incidentale legato al transito del ro-ro ferry elettrico durante condizioni avverse è quindi ragionevolmente

INTEGRAZIONE E ACCORPAMENTO TRUCK LOADING E RIFACIMENTO PONTILE SECONDARIO**RELAZIONE VALUTAZIONE INTERFERENZE DEL RO-RO FERRY NEL GOLFO DELLA SPEZIA**

Engineering doc. no.: P21IT04083-SAF-RE-000-001	Rev.: 00						Company doc. no.: RE-SIN-001
		Foglio	13	di	22		

trascurabile. La probabilità dell'Evento 3 e dell'Evento 10 è stata quindi considerata pari a zero;

- ✓ La probabilità di perdita di controllo a bordo del ro-ro ferry elettrico può essere stimata considerando il rateo di guasto a bordo nave riportato in letteratura λ ($1,45 \cdot 10^{-5}$ ev/nave/ora di navigazione, ref. DNV-RP-F107) e considerando il fallimento come guasto non riparabile:

$$P = 1 - e^{-\lambda t}$$

Per valori di λt piccoli, l'esponenziale può essere approssimato:

$$P = 1 - e^{-\lambda t} \sim \lambda \tau$$

Dove il tempo caratteristico τ può essere stimato conoscendo la distanza percorsa dal pontile A al punto di intersezione x_i (punto di intersezione tra la rotta del ro-ro ferry e la rotta dell'i-esimo natante calcolata tramite elaborazione dati AIS) e la velocità media del ro-ro ferry v_c , utilizzando la formula:

$$P \sim \lambda \tau = \frac{\lambda \cdot Ax_i}{v_c}$$

Siccome la distanza Ax_i dipende dalla direzione con cui il ro-ro ferry elettrico percorre la rotta proposta, la probabilità di impatto con il generico natante che attraversa la rotta del ro-ro ferry elettrico nella posizione i-esima sarà, in generale, diversa per la rotta di andata (navigazione dal pontile GNL-Italia verso il Molo Garibaldi, il Molo Malaspina o il Terminale Tarros a pieno carico) e per la rotta di ritorno (navigazione dal Molo Garibaldi, Molo Malaspina o Terminale Tarros verso il pontile GNL-Italia a carico minimo).

- ✓ Analogamente, la probabilità di perdita di controllo a bordo del natante può essere stimata come:

$$P \sim \lambda \tau = \frac{\lambda \cdot d_i}{v_i}$$

Dove d_i è la distanza percorsa dal natante all'interno del golfo di La Spezia valutata sulla base dell'elaborazione dei dati AIS e v_i è la velocità del natante, riportata dai dati AIS;

- ✓ La probabilità di errore umano durante la navigazione (sia a bordo ro-ro ferry elettrico, sia a bordo nave) è stimata sulla base delle probabilità base di errore umano riportate nella metodologia HEART (ref. Williams, J.C., HEART – A Proposed Method for Assessing and Reducing Human Error, 1986), considerando l'esecuzione di una routine standard, in presenza di sistemi di controllo funzionanti ($2 \cdot 10^{-5}$);
- ✓ La probabilità di fallimento di un'operazione di emergenza a causa di un errore umano (sia a bordo ro-ro ferry elettrico, sia a bordo nave) è stimata sulla base delle probabilità base di errore umano riportate nella metodologia HEART (ref. Williams, J.C., HEART – A Proposed Method for Assessing and Reducing Human Error, 1986), considerando l'operazione di recupero di un sistema alle condizioni di sicurezza a valle di un'anomalia ($3 \cdot 10^{-3}$). La probabilità di errore umano per questo caso è ragionevolmente più alta, perché tiene conto delle maggiori condizioni di stress, del limitato tempo disponibile per la risposta e per le condizioni non usuali in cui il personale è costretto ad operare durante uno scenario di emergenza.

INTEGRAZIONE E ACCORPAMENTO TRUCK LOADING E RIFACIMENTO PONTILE SECONDARIO

RELAZIONE VALUTAZIONE INTERFERENZE DEL RO-RO FERRY NEL GOLFO DELLA SPEZIA

Engineering doc. no.:	Rev.:	00					Company doc. no.:
P21IT04083-SAF-RE-000-001	Foglio 14 di 22					RE-SIN-001	

Tabella 3: Valori e unità di misura dei parametri utilizzati nell'analisi

Parametro	Significato	Valore	Unità di misura
T_{AIS}	periodo campionamento dati AIS	3	anni
v_c	velocità ro-ro ferry elettrico	6	nodi
-	durata media round trip	40	min
-	numero round trip al giorno	13	roundtrip/giorno
-	giorni operativi all'anno	280	giorni/anno
n_c	numero round trip all'anno	3.640	roundtrip/anno
w_c	larghezza ro-ro ferry elettrico	11.5	m
l_c	lunghezza ro-ro ferry elettrico	45.9	m
λ	rateo di guasto	$1,45 \cdot 10^{-5}$	ev/nave/ora

INTEGRAZIONE E ACCORPAMENTO TRUCK LOADING E RIFACIMENTO PONTILE SECONDARIO

RELAZIONE VALUTAZIONE INTERFERENZE DEL RO-RO FERRY NEL GOLFO DELLA SPEZIA

Engineering doc. no.: P21IT04083-SAF-RE-000-001	Rev.: 00	Foglio 15	di 22	Company doc. no.: RE-SIN-001
--	----------	-----------	-------	---------------------------------

5 RISULTATI

5.1 Valutazione del traffico marittimo nell'area di interesse

Il database conta oltre 1.600.000 registrazioni per un numero di rotte identificate superiore ai 20.000 passaggi-nave/anno; il database è stato suddiviso in classi di stazza, basate su intervalli di GRT (Gross Registered Tonns), come indicato in Tabella 4; per ciascuna classe, la tabella riporta il numero totale di rotte identificate. Il numero di rotte viene calcolato come numero di passaggi nave all'interno dell'area di interesse; una nave che percorre più volte la stessa rotta durante l'anno, viene quindi "contata" un numero di volte pari al numero di passaggi effettuati.

Tabella 4: Definizioni classi GRT

Classe GRT	Tonns	# Rotte 2016	# Rotte 2017	# Rotte 2018
1	< 1.500	20.921	16.399	14.450
2	1.500 – 5.000	547	614	572
3	5.000 – 10.000	512	807	762
4	10.000 – 30.000	515	823	886
5	30.000 – 60.000	292	512	457
6	> 60.000	1.159	1.870	1.673

Il traffico marittimo è massimo durante i mesi estivi (luglio e agosto, con un picco per il mese di luglio pari a circa 3.800 passaggi/mese per il 2016), mentre diminuisce fortemente tra dicembre e febbraio per gli anni 2017-2018 (il valore minimo è registrato a dicembre per entrambi gli anni) e aprile-maggio per l'anno 2016; la stagionalità (Figura 7) è principalmente legata al traffico passeggeri (massimo durante la stagione turistica in estate) e alle operazioni di pesca.

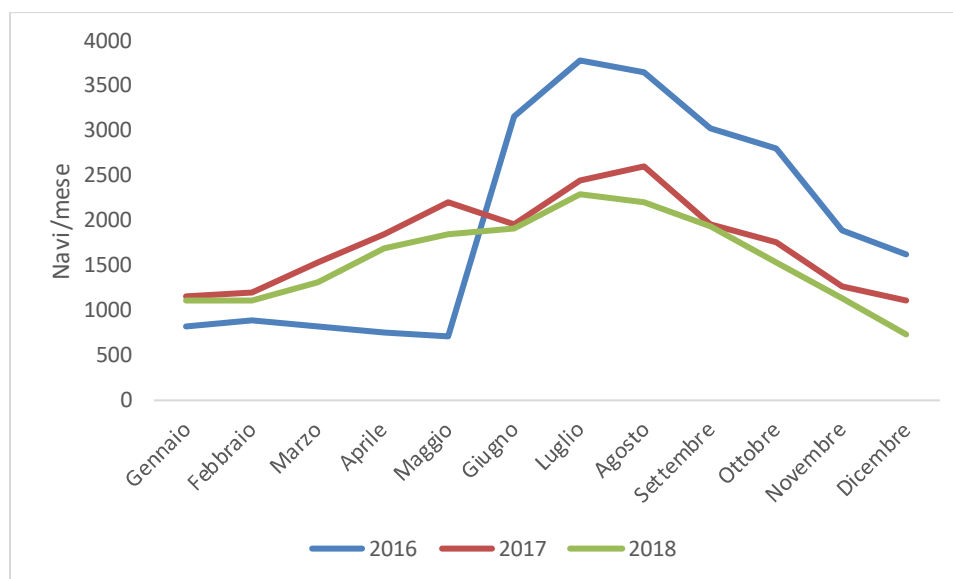


Figura 7: Stagionalità

INTEGRAZIONE E ACCORPAMENTO TRUCK LOADING E RIFACIMENTO PONTILE SECONDARIO

RELAZIONE VALUTAZIONE INTERFERENZE DEL RO-RO FERRY NEL GOLFO DELLA SPEZIA

Engineering doc. no.:
P21IT04083-SAF-RE-000-001

Rev.: 00
Foglio 16 di 22

Company doc. no.:
RE-SIN-001

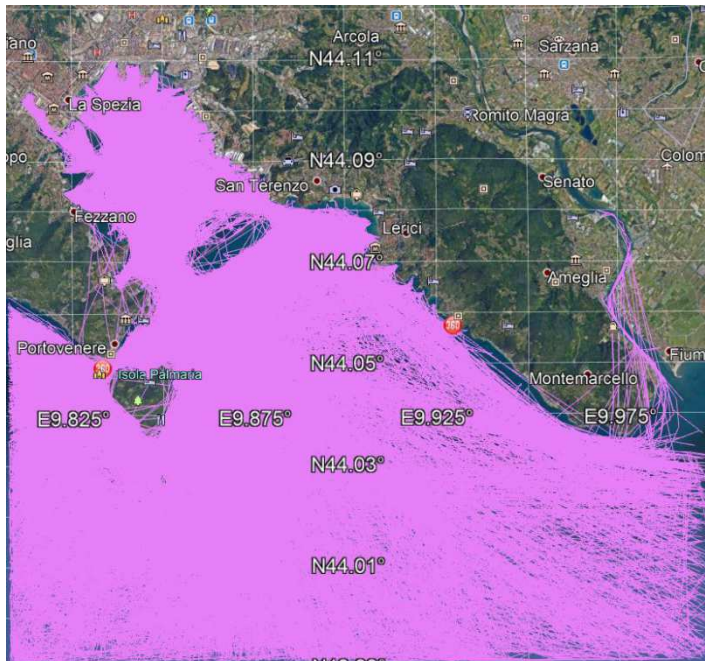


Figura 8: Rappresentazione delle rotte in classe GRT 1

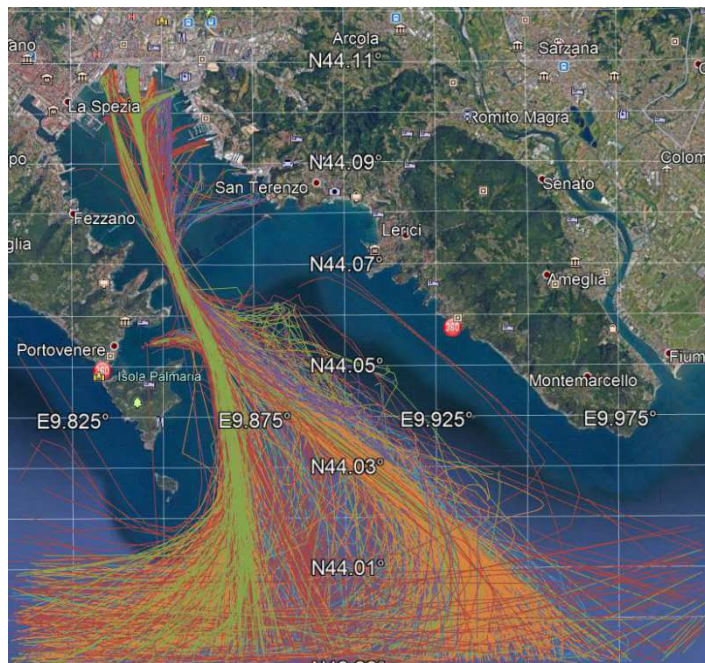


Figura 9: Rappresentazione delle rotte in classe GRT 2-6

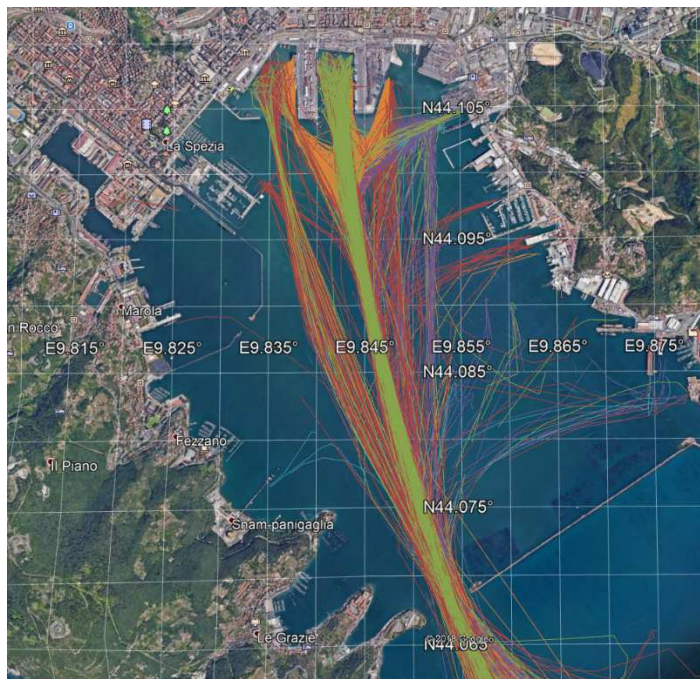


Figura 10: Rappresentazione delle rotte in classe GRT 2-6, particolare all'interno del golfo

Le rotte elaborate sulla base dei dati AIS sono rappresentate graficamente su un software GIS:

- ✓ la Figura 8 illustra il traffico relativo alle imbarcazioni di piccola stazza (classe GRT 1) elaborate, a titolo esemplificativo, per l'anno 2016. In questa classe rientrano imbarcazioni da diporto e scafi di piccola dimensione, oltre a rimorchiatori e vessel di servizio; queste navi generalmente non seguono corridoi di traffico, ma si muovono in maniera dispersa all'interno dell'area di interesse;
- ✓ la Figura 9 e la Figura 10 illustrano il traffico relativo alle imbarcazioni di classe GRT 2 – GRT 6; il codice colore delle rotte è utilizzato per distinguere le diverse classi di stazza (GRT 2: Rosso, GRT 3: Verde, GRT 4: Viola, GRT 5: Azzurro, GRT 6: Arancione). Il traffico navale in queste classi è principalmente costituito da rotte commerciali di navi porta-container, carrier e cargo vessel.

5.2 Frequenza di impatto

L'analisi delle interazioni tra le rotte dei natanti presenti all'interno del golfo di La Spezia e le rotte proposte per il ro-ro ferry elettrico adibito al trasporto di autocisterne/isocontainer evidenziano, per i 3 anni per cui sono disponibili i dati AIS, circa 37.000 interazioni per la rotta GNL-Italia – Garibaldi (12.000 interazioni/anno), circa 38.000 interazioni per la rotta GNL-Italia – Malaspina (12.600 interazioni/anno) e circa 43.000 interazioni per la rotta GNL-Italia – Tarros (circa 14.000 interazioni/anno).

La Figura 11, la Figura 12 e la Figura 13 illustrano l'andamento del numero di attraversamenti lungo la coordinata progressiva della rotta del ro-ro ferry elettrico (curva blu, valori espressi in numero di crossing totali sui 3 anni di database AIS ogni 100 m di rotta della chiatta), la frequenza di impatto per il ro-ro ferry elettrico durante il tragitto di andata (curva arancione, relativa al ro-ro ferry in navigazione dal pontile GNL-Italia al Molo Garibaldi o al Molo Malaspina o al Terminale Tarros, rispettivamente) e la frequenza di impatto per il ro-ro ferry elettrico durante il tragitto di ritorno (curva gialla tratteggiata, relativa ro-ro ferry in navigazione dal Molo Garibaldi, dal Molo Malaspina o dal Terminale Tarros, rispettivamente, verso il pontile GNL-Italia). I grafici sono costruiti considerando la coordinata progressiva uguale a zero in corrispondenza del pontile GNL-Italia.

INTEGRAZIONE E ACCORPAMENTO TRUCK LOADING E RIFACIMENTO PONTILE SECONDARIO

RELAZIONE VALUTAZIONE INTERFERENZE DEL RO-RO FERRY NEL GOLFO DELLA SPEZIA

Engineering doc. no.: P21IT04083-SAF-RE-000-001	Rev.: 00					Company doc. no.: RE-SIN-001
		Foglio 18	di 22			

Le frequenze di interazione sono in generale diverse per il tragitto di andata e il tragitto di ritorno; tra gli scenari di impatto evidenziati dall'analisi dell'albero dei guasti è stato identificato lo scenario di guasto a bordo del ro-ro ferry elettrico: la probabilità di tale guasto cresce al crescere del tempo di navigazione e sarà quindi uguale a zero alla partenza e massima all'arrivo. Conseguentemente, la frequenza di impatto dovuta a questo contributo (guasto a bordo del ro-ro ferry elettrico) con natanti che intersecano la rotta del ro-ro ferry elettrico in prossimità del pontile di partenza sarà minima; la frequenza di impatto dovuta a questo contributo con natanti che invece ne intersecano la rotta in prossimità del pontile di arrivo sarà massima. I percorsi di andata per tutti e tre i grafici (curva arancione continua) mostreranno quindi minori frequenze di interazione in prossimità della coordinata progressiva di partenza (molo GNL-Italia) e frequenza massima in corrispondenza della coordinata di arrivo (Molo Garibaldi, Molo Malaspina o Terminale Tarros); i percorsi di ritorno mostreranno invece un andamento opposto.

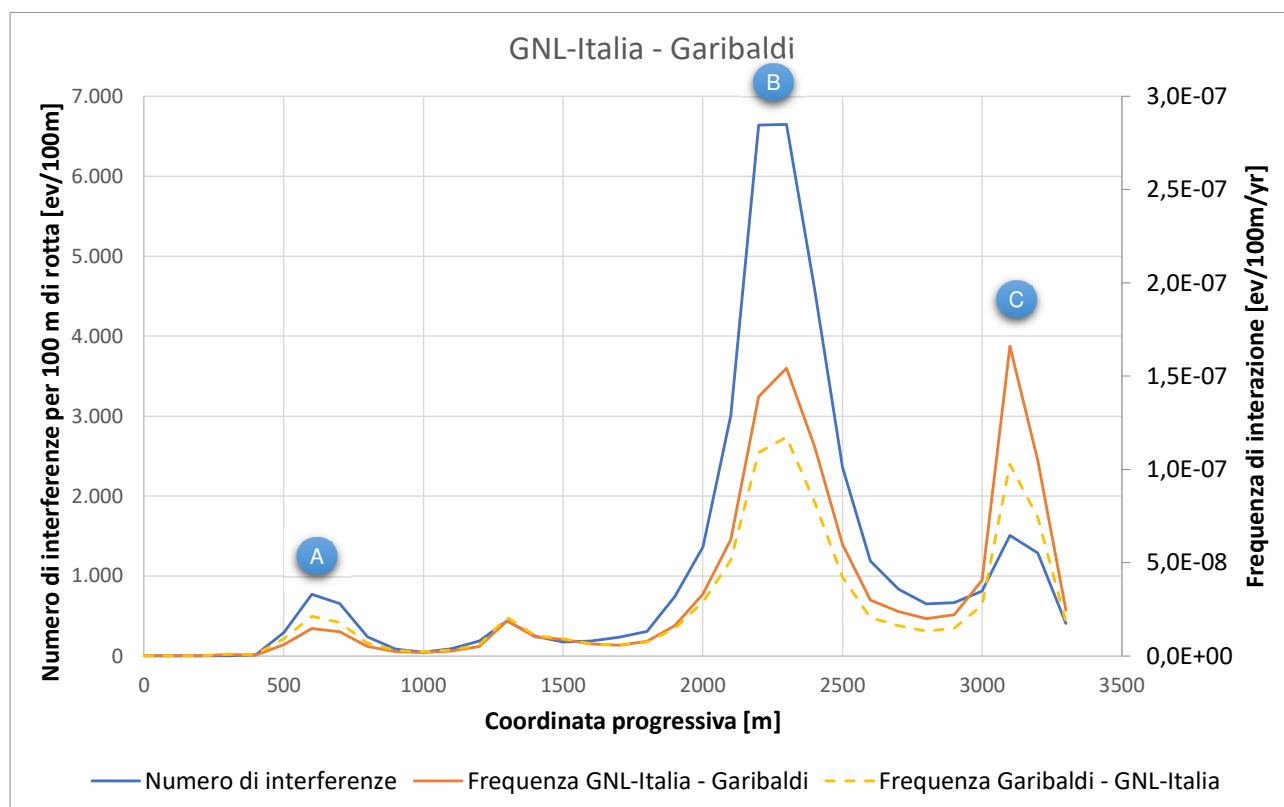


Figura 11: Andamento del numero complessivo di attraversamenti e della frequenza di impatto per la rotta GNL-Italia – Molo Garibaldi

RELAZIONE VALUTAZIONE INTERFERENZE DEL RO-RO FERRY NEL GOLFO DELLA SPEZIA

Engineering doc. no.:
P21IT04083-SAF-RE-000-001

Rev.: 00
Foglio 19 di 22

Company doc. no.:
RE-SIN-001

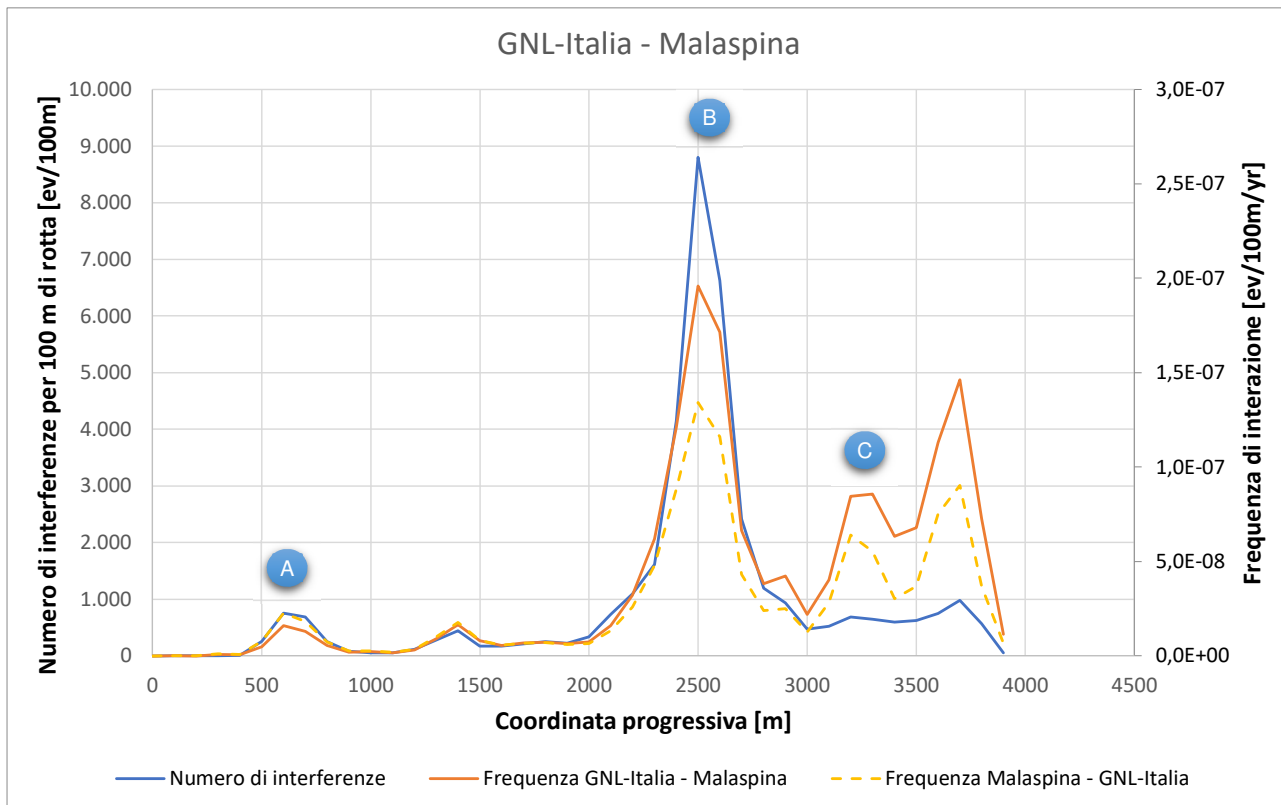
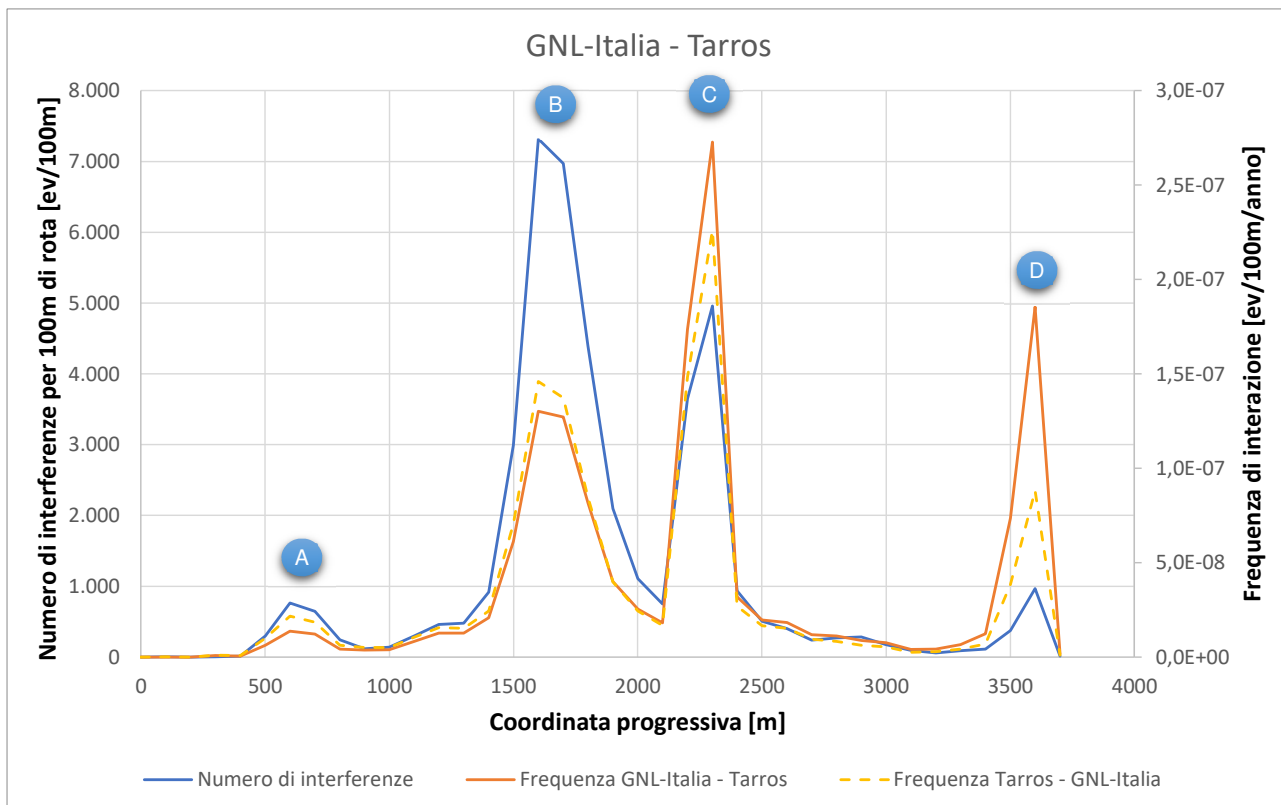


Figura 12: Andamento del numero complessivo di attraversamenti e della frequenza di impatto per la rotta GNL-Italia – Molo Malaspina



Engineering doc. no.: P21IT04083-SAF-RE-000-001	Rev.: 00	Foglio 20	di 22	Company doc. no.: RE-SIN-001
--	----------	-----------	-------	---------------------------------

Figura 13: Andamento del numero complessivo di attraversamenti e della frequenza di impatto per la rotta GNL-Italia – Terminale Tarros

Le rotte presentano alcuni picchi in corrispondenza dei principali corridoi di passaggio delle navi all'interno del golfo di La Spezia. La Figura 14 riporta le rotte delle navi con classe GRT maggiore; tali navi tendono a seguire rotte precise con una minore dispersione, permettendo una più facile identificazione dei corridoi di traffico; le intersezioni tra le rotte del ro-ro ferry elettrico e i principali corridoi di traffico sono indicate con le lettere A-D; le stesse indicazioni sono riportate in Figura 11, Figura 12 e Figura 13 per permettere un immediato riscontro.

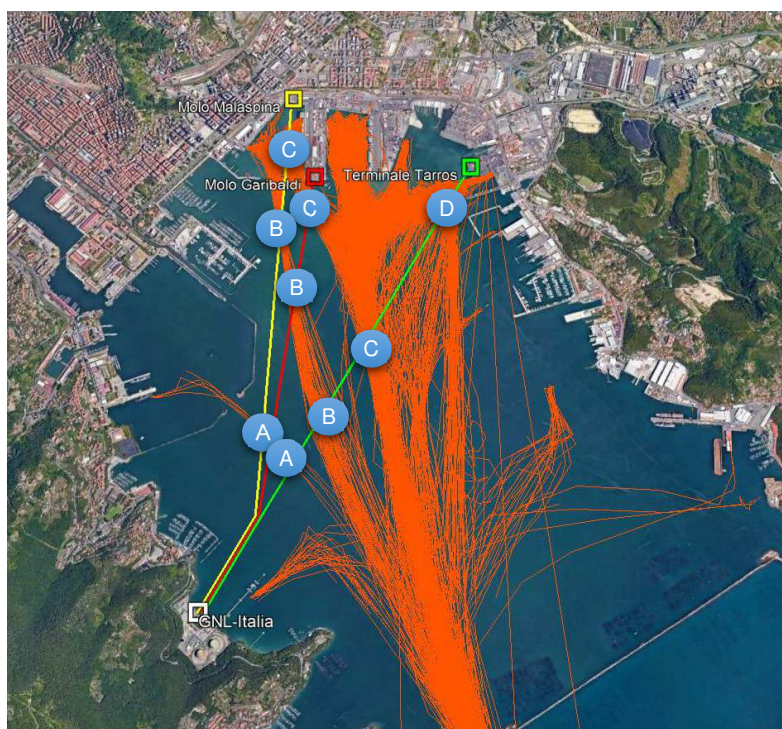


Figura 14: Intersezioni delle rotte con i principali corridoi di traffico

Il corridoio che presenta il maggior numero di passaggi è il corridoio identificato dalla lettera B; a tale corridoio corrispondono picchi nella frequenza di impatto per tutte le rotte (GNL-Italia – Molo Garibaldi, GNL-Italia – Terminale Tarros, GNL-Italia – Molo Malaspina). I grafici evidenziano, in corrispondenza del corridoio C (per tutte le rotte) e del corridoio D (per la sola rotta Terminale Tarros) picchi caratterizzati da un minore numero di passaggi (numero interferenze), ma da una maggiore frequenza di impatto; questa inversione di trend è dovuta alla minore velocità dei natanti in corrispondenza degli attraversamenti sui corridoi C e D legata alle manovre di avvicinamento al pontile (minori velocità comportano maggiori tempi di permanenza all'interno del corridoio di interazione; in altre parole, a parità del numero di navi che attraversano il golfo di La Spezia, la probabilità di incontrare un natante è massima dove le velocità di navigazione sono minori).

L'analisi dell'albero dei guasti ha permesso di evidenziare l'elenco dei minimal cut set, ovvero le combinazioni minime di eventi iniziatori sufficienti ad innescare il top event; degli 11 minimal cut set individuati, quelli che dipendono dalla probabilità di errata manovra a causa di condizioni meteomarine avverse sono stati esclusi, considerando i requisiti imposti dall'autorità portuale all'interno del golfo di La Spezia.

Risultano quindi applicabili i seguenti minimal cut set:

- ✓ MCS 1: guasto a bordo del ro-ro ferry elettrico e errore umano a bordo del natante che preclude la possibilità di operare una manovra di emergenza per evitare l'impatto;

INTEGRAZIONE E ACCORPAMENTO TRUCK LOADING E RIFACIMENTO PONTILE SECONDARIO**RELAZIONE VALUTAZIONE INTERFERENZE DEL RO-RO FERRY NEL GOLFO DELLA SPEZIA**

Engineering doc. no.: P21IT04083-SAF-RE-000-001	Rev.: 00					Company doc. no.: RE-SIN-001
		Foglio 21 di 22				

- ✓ MCS 2: guasto simultaneo a bordo del ro-ro ferry elettrico e del natante;
- ✓ MCS 6: guasto a bordo del natante e errore umano a bordo del ro-ro ferry elettrico che preclude la possibilità di operare una manovra di emergenza per evitare l'impatto;
- ✓ MCS 9: errore umano a bordo del ro-ro ferry elettrico durante la normale navigazione che porti il ro-ro ferry elettrico in rotta di collisione con il natante, contemporaneo errore umano a bordo di entrambe le imbarcazioni che preclude la possibilità di operare una manovra di emergenza per evitare l'impatto;
- ✓ MCS 11: errore umano a bordo del natante durante la normale navigazione che porti il natante in rotta di collisione con il ro-ro ferry elettrico, contemporaneo errore umano a bordo di entrambe le imbarcazioni che preclude la possibilità di operare una manovra di emergenza per evitare l'impatto.

La Tabella 5 riporta le frequenze di impatto relative ad ogni Minimal Cut Set per ciascuna rotta e scenario (trasporto ro-ro ferry elettrico in andata e in ritorno). Appare evidente che il guasto contemporaneo alle due imbarcazioni è un evento estremamente raro, così come è raro l'evento di doppio errore umano. Si nota inoltre come, a causa delle maggiori distanze percorse dalle navi all'interno del golfo, rispetto al ro-ro ferry elettrico, il contributo del MCS 6 sia significativamente superiore (maggiore il tempo percorso all'interno del golfo, maggiore la probabilità di riportare un guasto ai sistemi di bordo).

Tabella 5: Risultati quantitativi della risoluzione dell'albero dei guasti

Minimal Cut Set	Rotta GNL-Italia – Garibaldi		Rotta GNL-Italia – Malaspina		Rotta GNL-Italia - Tarros	
	Frequenza interazione ro-ro ferry (andata)	Frequenza interazione ro-ro ferry (ritorno)	Frequenza interazione ro-ro ferry (andata)	Frequenza interazione ro-ro ferry (ritorno)	Frequenza interazione ro-ro ferry (andata)	Frequenza interazione ro-ro ferry (ritorno)
MCS 1	4.19E-07	1.66E-07	6.08E-07	1.31E-07	5.98E-07	4.31E-07
MCS 2	7.18E-10	2.59E-10	1.16E-09	1.86E-10	7.55E-10	5.63E-10
MCS 6	6.83E-07	6.83E-07	9.39E-07	9.39E-07	8.05E-07	8.05E-07
MCS 9+11	1.63E-08	1.63E-08	2.06E-08	2.06E-08	2.51E-08	2.51E-08

La riduzione delle frequenze di interazione può quindi essere raggiunta operando su entrambi i contributi:

- ✓ prevedere piani di manutenzione ordinaria e di verifica periodica della funzionalità dei sistemi di bordo per diminuire il contributo associato al MCS 1;
- ✓ prevedere un monitoraggio costante delle condizioni di traffico marittimo nel golfo di La Spezia, sia tramite sistemi automatici (VTS) sia tramite sensibilizzazione dell'equipaggio alle problematiche di sicurezza;
- ✓ garantire il rispetto delle ordinanze della Capitaneria di Porto, e delle indicazioni della stessa attraverso il Nostromo del porto che saranno fornite in base al traffico e alle condizioni meteo/marine.

INTEGRAZIONE E ACCORPAMENTO TRUCK LOADING E RIFACIMENTO PONTILE SECONDARIO**RELAZIONE VALUTAZIONE INTERFERENZE DEL RO-RO FERRY NEL GOLFO DELLA SPEZIA**

Engineering doc. no.: P21IT04083-SAF-RE-000-001	Rev.: 00						Company doc. no.: RE-SIN-001
Foglio 22 di 22							

6 CONCLUSIONI

L'analisi storica del traffico marittimo ha evidenziato oltre 20.000 movimenti/anno all'interno del golfo di La Spezia per un totale di oltre 190.000 ore di navigazione; il traffico connesso alla navigazione del ro-ro ferry elettrico comporterebbe un incremento di circa 3.600 round trip/anno per un totale di circa 2.400 ore di navigazione/anno. L'incremento percentuale di ore di navigazione risulta quindi essere di circa 1,3 %, e pertanto non sono attesi impatti significativi del traffico all'interno del golfo di La Spezia.

La valutazione delle frequenze di interazione è stata effettuata considerando gli scenari di impatto con il ro-ro ferry elettrico durante il trasporto di autocisterne/isocontainer in andata e in ritorno; i risultati ottenuti evidenziano, per le rotte analizzate (GNL-Italia – Molo Garibaldi, GNL-Italia – Molo Malaspina e GNL-Italia – Terminale Tarros) valori di frequenza di impatto nell'ordine di 10^{-7} ev/anno, e pertanto inferiore alla probabilità di accadimento tipicamente associata agli eventi ritenuti credibili ($\geq 10^{-6}$).

In ogni modo il ro-ro ferry elettrico opererà sempre nel rispetto della normativa di settore ed in particolare garantendo:

- ✓ piani di manutenzione ordinaria e di verifica periodica della funzionalità dei sistemi di bordo per diminuire il contributo associato ai guasti dei sistemi di bordo;
- ✓ un monitoraggio costante delle condizioni di traffico marittimo nel golfo di La Spezia, sia tramite sistemi automatici (VTS) sia tramite sensibilizzazione dell'equipaggio alle problematiche di sicurezza;
- ✓ il rispetto delle ordinanze della Capitaneria di Porto e delle indicazioni della stessa attraverso il Nostromo del porto che saranno fornite in base al traffico e alle condizioni meteo/marine.